

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS – PRORH

ROBSON BATISTA DOS SANTOS

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO DA
TERRA NAS PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PIAUITINGA-SE

SÃO CRISTÓVÃO - SE

2016

ROBSON BATISTA DOS SANTOS

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO DA
TERRA NAS PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PIAUITINGA-SE

Dissertação Apresentado ao Núcleo de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um dos
requisitos para a obtenção do título de Mestre em
Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. André Quintão de Almeida

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S237i Santos, Robson Batista dos
Impactos das mudanças climáticas e do uso da terra nas
perdas de solo da bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE / Robson
Batista dos Santos ; orientador André Quintão de Almeida. – São
Cristóvão, 2016.
59 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade
Federal de Sergipe, 2016.

1. Recursos hídricos. 2. Precipitação (Meteorologia). 3.
Mudanças climáticas. 4. Solos – Erosão – Sensoriamento remoto.
5. Bacias hidrográficas. I. Almeida, André Quintão, orient. II. Título.

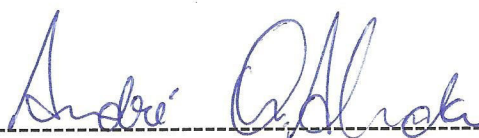
CDU 556.12:551.311.21

ROBSON BATISTA DOS SANTOS

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO DA
TERRA NAS PERDAS DE SOLO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PIAUITINGA-SE

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um
dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Recursos Hídricos.

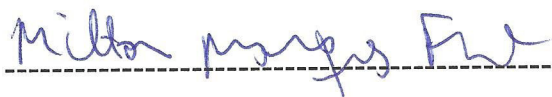
APROVADA: 22 de Fevereiro de 2016



Prof. Doutor André Quintão de Almeida
Orientador



Marcus Aurélio Soares Cruz



Milton Marques Fernandes

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2016

AGRADECIMENTOS

A Deus e a minha família, pelo amor, apoio e confiança.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. André Quintão de Almeida, pela orientação, confiança e amizade.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos da UFS – PRORH pelo conhecimento transmitido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo incentivo financeiro e fomento à pesquisa.

À EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), ANA (Agência Nacional de Águas) e IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) pela disponibilização dos dados essenciais à realização desta pesquisa.

Aos colegas de Pós-Graduação, pela amizade e companheirismo. Em especial, Jeizikailany Peixoto e Ricardo Castilho Salazar.

Às amigas que encontrei pelo caminho e que, de modo algum, gostaria de perder, pois foram importantes fontes de incentivo e apoio durante esta jornada. A saber: Erika Almeida, João Leno (John), Stephanie Lundgren, Joselita Monteiro, Cynthia Diniz e Fausto Diniz.

A todos aqueles que, de alguma maneira, incentivaram e colaboraram para a realização desta pesquisa, meu Muito Obrigado.

“Se tens que lidar com água, consulta primeiro a experiência, depois a razão”.

(Leonardo da Vinci)

“E qualquer desatenção, faça não! Pode ser a gota d’água”.

(Chico Buarque)

RESUMO

As mudanças climáticas e as modificações no uso e cobertura da terra, provocadas pela ação antrópica, vêm causando alterações nas perdas de solos das bacias hidrográficas brasileiras. Portanto, este trabalho teve como objetivo principal estimar as perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE e avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra sobre as perdas dos solos na bacia. Para tal, utilizou-se a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) associada à técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Foram utilizadas séries históricas (entre 15 e 68 anos) de precipitações diárias e dados de projeções climáticas oriundos do Global Climate Model (GCM), gerados pelo Community Climate System Model (CCSM) para o quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC). Na caracterização fisiográfica da bacia, foram utilizados mapas de tipo de solos, rede hidrográfica, informações de relevo e imagens de alta resolução espacial do sensor RapidEye do ano de 2013. De posse dos dados, foram realizadas duas estimativas de perdas de solo. Na primeira estimativa foram considerados dois cenários para a bacia: Cenário 1 (C1), com as condições fisiográficas e de uso e cobertura da terra atuais; Cenário 2 (C2) com alterações no uso e cobertura da terra, considerando as Áreas de Preservação Permanentes Preservadas, conforme Lei nº 12.651/2012. Na segunda estimativa foram avaliados quatro cenários climáticos de precipitação pluviométrica: Cenário Atual, Otimista B1, Médio A1B e Pessimista A2, sendo que, para estes, foram considerados apenas os fatores naturais de erosão da bacia. Na primeira estimativa, os dois cenários (C1 e C2) de uso e cobertura da terra avaliados apresentaram maior parte da área da bacia com erosão entre as classes Muito Baixa ($0-5 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$), Baixa ($5-10 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$) e Moderada ($10-50 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$). Considerando o Cenário 2, houve uma redução nos valores de perda de solos, principalmente nas APPs, comprovando a importância de manter estas áreas preservadas para a conservação do solo e da água na bacia. Já para a segunda estimativa, foi observado que, quando comparado ao Cenário Atual, os cenários de projeções climáticas (Otimista B1, Médio A1B e Pessimista A2) provocaram redução da erosividade das chuvas e perdas de solo na bacia do rio Piauitinga - SE.

Palavras-Chave: RapidEye, APPs, USLE, SIGs, Mudanças Climáticas, IPCC.

ABSTRACT

Climate change and changes in the use and coverage of land, caused by human activities, have been changing the soil loss in the Brazilians watershed. Therefore, this paper estimated soil loss by extensive erosion in the watershed of the Piauitinga-SE river and assessed the possible effects of climate change and land use and land cover over the loss of soils in the basin. For this, we used the Universal Soil Loss Equation of (USLE) associated with GIS and remote sensing techniques. Historical series were used (between 15 and 68 years) daily rainfall and data on climate projections coming from the Global Climate Model (GCM), generated by the Community Climate System Model (CCSM) to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In the physiographic characteristics of the watershed, were used soil map, hydrographic network, slope information and images of high spatial resolution of the RapidEye sensor to year 2013. With this data, two estimates of soil loss were realized. The first estimate was considered two scenarios for the watershed: Scenario 1 (C1) with physiographic and usage conditions and current land cover; Scenario 2 (C2) with changes in land use and land cover, considering the preserved the Permanent Preservation Areas (PPAs), as Law No. 12,651/2012. In the second estimate it was considered four climate scenarios of rainfall: Current Scenario, Scenario optimistic (Low B1), Scenario Medium (Medium A1B) and scenario Pessimistic (High A2), and, for them, was only considered natural factors of erosion in the basin. In the first estimate, the two scenarios (C1 and C2) of use and assessed land cover presented most of the basin area with erosion between classes Very Low ($0-5 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{year}$), Low ($5-10 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{year}$) and moderate ($10-50 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{year}$). Considering the scenario 2, there was a reduction in soil loss values, especially in the PPAs, proving the importance of maintaining these areas preserved for conservation of soil and water in the basin. As for the second estimate, it was observed that, when compared to the Current Scenario, the climate projections scenarios (Optimistic B1, Medium A1B and Pessimistic A2) caused reduction of rainfall erosivity and soil loss in the basin river Piauitinga - SE.

Keywords: RapidEye, APPs, USLE, GIS, Climate Changes, IPCC.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	10
2.	OBJETIVO GERAL	12
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3.	ARTIGO I: ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIAUITINGA-SE	13
3.4.	INTRODUÇÃO	15
3.5.	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.7.	CONCLUSÕES	33
4.	ARTIGO II: IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIAUITINGA-SE	34
4.4.	INTRODUÇÃO	36
4.5.	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.7.	CONCLUSÕES	51
5.	CONCLUSÃO GERAL	52
6.	CONSIDERAÇÕES	53
7.	REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

As bacias hidrográficas brasileiras apresentam graves problemas ambientais, especialmente aqueles relacionados ao manejo e conservação do solo e da água. A maior parte destes problemas é decorrente da ocupação desordenada, manejo inadequado do solo e dos recursos hídricos. Isso tem ocasionado modificações nas taxas de erosão do solo, assoreamento dos mananciais e deterioração da qualidade das águas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A erosão hídrica tem sido uma preocupação constante quando se trata da gestão do uso do solo e da água. Este tipo de erosão subdivide-se em sulcos, voçorocas e laminar. Destas, a laminar caracteriza-se pela remoção da camada superficial do solo e se destaca devido seu potencial erosivo e sua capacidade de transportar nutrientes, matéria orgânica e agrotóxicos, empobrecendo os solos e contribuindo para a poluição dos cursos d'água (WISCHMEIER e SMITH, 1978; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Adicionalmente, alguns fatores antrópicos agravam este processo devido ao desmatamento, ocupação desordenada do solo e práticas agropecuárias inadequadas. Além disso, são esperadas alterações nas taxas de erosão do solo em resposta às mudanças no clima, o que implica em alteração da potência erosiva da precipitação, mudanças de erodibilidade do solo, mudanças no uso da terra e mudanças na umidade do solo (PARRY et al., 2007; IPCC, 2013).

De fato, existe um crescente consenso entre os pesquisadores do clima a cerca do aumento nas temperaturas globais para os próximos séculos, o que levará a mudanças nos padrões climáticos globais, tanto em termos de temperatura, quanto de precipitação (IPCC, 2013). O Brasil, de modo particular, apresenta alta vulnerabilidade às alterações climáticas. Segundo Marengo et al. (2010) os efeitos das mudanças climáticas no país já podem ser observados nas secas e desertificação que vem ocorrendo no Nordeste e nas chuvas intensas que vêm ocorrendo nos estados do Sul e do Sudeste. Para Oliveira (2010), a tendência é que para a região Nordeste haja aumento na frequência de dias secos consecutivos, o que também se observa para o norte da região Sudeste.

Por outro lado, é preciso considerar que os efeitos das mudanças climáticas atenuam-se ou tornam-se mais graves na medida em que existe maior vulnerabilidade associada ao uso e a ocupação do solo, tanto nas áreas rurais quanto nas urbanas (MINGOTI, 2009; JUNIOR et al., 2012; MIQUELONI et al., 2012; WEILL e SPAROVEK, 2008; PRUSKI e NEARING,

2002; MAEDA et al., 2010; IPCC, 2013; GARBRECHT et al., 2014). Assim, a densidade da vegetação presente numa bacia hidrográfica, práticas agrícolas conservacionistas, bem como a presença das Áreas de Preservação Permanentes (APPs), apresentam forte influência na vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos (COUTINHO, 2010). Deste modo, áreas de menor susceptibilidade à erosão hídrica são aquelas que apresentam cobertura vegetal protegendo o solo. Em contrapartida, áreas destituídas de cobertura vegetal apresentam forte susceptibilidade erosiva (RUHOFF, 2004).

A bacia hidrográfica do rio Piauitinga está localizada na região citrícola do estado de Sergipe e apresenta uma importância estratégica para o estado. O rio principal e seus afluentes são utilizados para o abastecimento de água, uso doméstico, industrial e agrícola de municípios como Estância, Salgado e Lagarto. Esta região, no entanto, encontra-se atualmente com grande parte dos seus mananciais em avançado estado de degradação, ocasionado principalmente pela poluição antrópica, produção agrícola irracional sem o uso de práticas conservacionistas e a criação de gado nas matas ciliares (OLIVEIRA et al., 2012a). Devido a isso, a bacia do rio Piauitinga apresenta grande parte de sua área susceptível aos processos de erosão hídrica.

Em face desta problemática que acomete bacias hidrográficas em todo o mundo, diversos modelos empíricos foram criados e têm sido utilizados para estimar e prever a erosão hídrica. Dentre estes modelos, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978) é a que possui maior divulgação, principalmente pela simplicidade, cálculos rápidos e baixo custo para aplicação (FARINASSO, et al., 2006). Conjuntamente com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), este modelo se apresenta como uma importante ferramenta de quantificação e espacialização das perdas de solo, estimativas de áreas de risco de erosão, formulação de prognósticos e diagnósticos ambientais, assim como a análise de cenários conservacionistas (COUTINHO, 2010; FARINASSO, et al., 2006). Para isso, conhecimentos a cerca das condições de cobertura vegetal, tipos de solo, topografia, drenagem e clima da bacia hidrográfica são necessários (PAES, 2010).

Dado os problemas causados pelos processos erosivos na qualidade e quantidade dos recursos hídricos, fazem-se necessários estudos que subsidiem a gestão das áreas afetadas, gerando informações úteis à conservação e recuperação do solo, mapas de susceptibilidade à erosão e zoneamento de áreas de maior risco. De modo semelhante, estudos abordando os

impactos esperados das mudanças climáticas sobre a erosão laminar em bacias hidrográficas também são necessários, posto que ajudam na melhor compreensão dos fenômenos erosivos e são capazes de direcionar medidas de mitigação.

2. OBJETIVO GERAL

- Estimar as perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE e avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra sobre as perdas dos solos na bacia.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o mapeamento de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Piauitinga.
- Estimar as perdas de solo por erosão laminar nas condições atuais de uso e cobertura do solo e identificar áreas de maior risco à erosão laminar para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga através da aplicação da USLE.
- Estimar e espacializar as perdas de solo considerando regeneradas as principais Áreas de Preservação Permanente na bacia do Rio Piauitinga.
- Simular os impactos advindos das mudanças climáticas na erosão laminar da bacia hidrográfica do rio Piauitinga através da construção de cenários climáticos do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas - IPCC, 2007.

3. ARTIGO I: ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIAUITINGA-SE

RESUMO

O objetivo do trabalho foi estimar as perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE em razão das mudanças no uso e ocupação da terra. Para isso, utilizou-se a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) associada à várias técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Foram utilizadas séries históricas de precipitação diária (mm) da Agência Nacional das Águas - ANA, mapa de solos da EMBRAPA (Escala 1:400.000), mapas de hidrografia (Escala 1:100.000), informações de declividade do terreno (%) extraídas do *Shuttle Radar Topography Mission* e imagens de satélite com alta resolução espacial (5 m) do sensor RapidEye do ano de 2013. Dois cenários foram definidos para a estimativa de perdas de solo com base na USLE: Cenário 1 (C1), considerando o mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2013; e o Cenário 2 (C2), com uso do solo considerando as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) preservadas, segundo a legislação federal (Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012). Os resultados apontaram eficiência no uso da USLE associada às técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a estimativa de perdas de solo na bacia estudada. Foi observada uma dependência espacial da erosão laminar em relação ao fator topográfico (LS). As Áreas de Preservação Permanente (C1) contribuíram para a redução das perdas de solo na bacia do rio Piauitinga, entretanto, os dois cenários (C1 e C2) apresentaram maior parte da área da bacia com erosão entre as classes Muito Baixa ($0-5 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$), Baixa ($5-10 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$) e Moderada ($10-50 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$).

Palavras-Chave: Erosão, APPs, USLE, SIG, RapidEye.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate soil loss by erosion in the watershed of Piauitinga river due to changes in land use and covering soil. For this, we used the Universal Soil Loss Equation associated at GIS and remote sensing techniques. As dataset, were used historical daily series of rainfall of the National Water Agency - ANA, soil map of EMBRAPA (scale 1: 400,000), hydrographic maps (scale 1: 100,000), slope data from the Shuttle Radar Topography Mission and image satellite with high spatial resolution (5 m) of the sensor RapidEye. Then, two scenarios were defined for estimating soil loss: Scenario 1 - current conditions, with the use of the land cover map for the year 2013; Scenario 2 - land use considering the permanent preservation areas (Law N°. 12,651/2012). The results showed efficiency of use of USLE associated with GIS and remote sensing techniques for estimating soil loss in the study area. A spatial dependence of sheet erosion with respect to the topographic factor (LS) was observed. Permanent Preservation Areas (C1) contributed to the reduction of soil loss in Piauitinga River basin, however, the two scenarios (C1 and C2) had most of the basin area with erosion between classes Very Low ($0-5 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{year}$), Low ($5-10 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{year}$) and Moderate ($10-50 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{year}$).

Keywords: Erosion, APPs, USLE, GIS, RapidEye.

3.4. INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural e consiste no desprendimento e transporte das partículas do solo, sendo a principal causa da degradação e depauperamento acelerado das terras. Esse processo é intensificado devido à supressão de extensas áreas vegetadas, aumento da urbanização, atividades agropecuárias e manejo inadequado do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A identificação de áreas de suscetibilidade à erosão do solo pode ser obtida pelo uso de modelos matemáticos, os quais permitem que os processos erosivos sejam previstos e estudados. Assim, o gerenciamento ambiental e a implementação de manejo em bacias hidrográficas devem incluir estudos quantitativos de expectativa de erosão hídrica superficial, sendo a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ferramentas eficazes neste processo (WISCHMEIER e SMITH, 1978; COUTINHO, 2010; FARINASSO et al., 2006; SILVA, 2004; ARAGÃO et al., 2011; STEIN et al., 1987).

A USLE é um modelo empírico que envolve seis variáveis explicativas relacionadas às características climáticas, pedológicas, geográficas e de ação antrópica sobre o ambiente (WISCHMEIER e SMITH, 1978): R – Erosividade, K – Erodibilidade, L – Comprimento de rampa, S –Declividade das encostas, C – Cobertura do solo, P – Práticas conservacionistas. No Brasil, essa equação foi inicialmente adaptada pelos trabalhos de Bertoni et al. (1975) e Lombardi Neto e Bertoni (1975) às condições do Estado de São Paulo. Posteriormente, os trabalhos pioneiros desenvolvidos por esses autores estimularam o desenvolvimento de inúmeras pesquisas tanto para o estabelecimento dos parâmetros da equação para as diferentes regiões do país quanto para sua aplicação em bacias hidrográficas (STEIN, et al., 1987; CHAVES, 1994; SILVA, 2004; CANTALICE et al., 2009; ARAGÃO et al., 2011; PAES, 2010; FARINASSO et al., 2006).

Com ampla divulgação, principalmente pela facilidade de uso e simplicidade, a USLE conjuntamente com os SIGs, apresenta-se como uma importante ferramenta de quantificação e espacialização das perdas de solo, estimativas de áreas de risco, formulação de prognósticos e diagnósticos, assim como a análise de cenários conservacionistas (COUTINHO, 2010; FARINASSO, et al., 2006; TADDESE, 2001). Além disso, os SIGs também são úteis na delimitação, quantificação e identificação dos conflitos de uso da terra em Áreas de Preservação Permanente (APPs), auxiliando o monitoramento e suporte para o estudo de

degradação ambiental, principalmente devido aos impactos gerados pela supressão destas áreas na preservação dos solos e redução da erosão (MINGOTI, 2009; PELUZIO et al., 2010; JUNIOR et al., 2012; MIQUELONI et al., 2012; PAES, 2010; WEILL e SPAROVEK , 2008; RUHOFF, 2004; BARROS, 2012).

A bacia hidrográfica do Rio Piauitinga apresenta uma importância estratégica para o estado de Sergipe, já que o rio principal e seus afluentes são utilizados para o abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola de municípios como Estância, Salgado e Lagarto. Porém, esta região encontra-se atualmente com grande parte dos seus mananciais em avançado estado de degradação, ocasionado, principalmente, pela produção agrícola irracional, não adoção de práticas conservacionistas e a criação de gado sem manejo adequado nas APPs (OLIVEIRA et al., 2012a).

Neste contexto, surge a necessidade de gerar informações úteis à seleção de áreas prioritárias com vista à conservação e recuperação dos solos através de mapas de expectativa de perda de solo por erosão laminar e zoneamento básico das áreas de restrição à ocupação antrópica (RUHOFF, 2004). Assim, o objetivo desse trabalho foi estimar as perdas de solo por erosão laminar para o uso do solo atual e comparar com o cenário adequado (Lei 12.651/2012) para as APP's na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, utilizando para isso, a USLE e ferramentas de geotecnologias.

3.5. MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Piauitinga (Figura 1). A bacia está localizada no estado de Sergipe, Nordeste do Brasil, entre o agreste e o litoral úmido. Com clima Megatérmico Subúmido (THORNTHWAITE e MATHER, 1955), esta região apresenta temperaturas médias anuais variando entre 24,2°C e 25°C, precipitações anuais entre 1100 mm e 1400 mm com período chuvoso compreendido entre os meses de março e agosto (SERGIPE, 2004). Possui uma área geográfica aproximada de 412,14 km², abrange parte do território dos municípios de Lagarto, Boquim, Itaporanga D'Ajuda, Salgado e Estância e sua população é estimada em aproximadamente 300.000 habitantes (IBGE, 2012).

A extensão do rio Piauitinga mede 59,28 km e sua foz localiza-se próximo à sede do município de Estância, desembocando no rio Piauí. Esta região é um importante componente da rede hidrográfica sergipana, sendo seu sistema hidrográfico constituído pelo curso d'água principal e por vários afluentes, destacando-se os rios do Grotão, Capivaras, Riachão e Grilo.

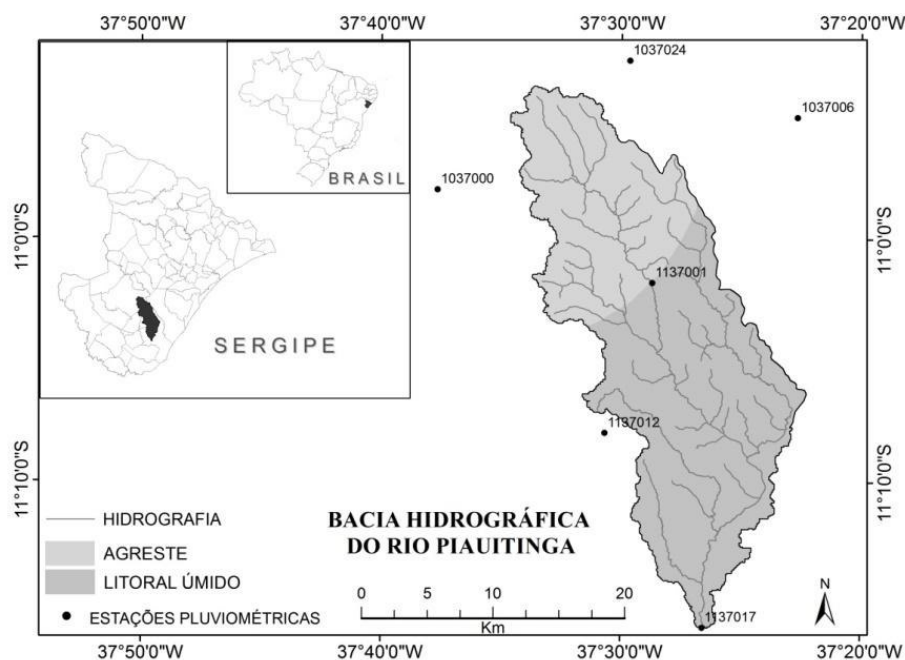


Figura 1. Localização da área de estudo, diferentes tipos climáticos e estações pluviométricas da região.

A geomorfologia da região apresenta predominância dos sedimentos terciários do grupo barreiras, além de tabuleiro costeiro com superfície tabular erosiva e relevos dissecados em colinas, interflúvios tabulares e superfície pediplanada sertaneja (SEMARH, 2012). Possui

um planalto de topografia suave sulcado por vales fluviais com maior altitude (195 m) localizada na cabeceira do rio Piauitinga, no povoado Brasília. Quanto aos solos, existe a predominância de Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico e Planossolos (EMBRAPA, 2013).

A vegetação presente na região, segundo o sistema de classificação de Veloso et al. (1991), pode ser qualificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana e transição entre Floresta Estacional e áreas que sofreram antropização com a agropecuária (SEMARH, 2012).

DETERMINAÇÃO DOS FATORES DA USLE

Erosividade (R)

Para a determinação do fator de erosividade das chuvas foi utilizado o modelo de potência $Y = ax^b$ desenvolvido por Cantalice et al. (2009). Este modelo foi ajustado para as regiões do Agreste (Eq. 1) e Zona da Mata (Eq. 2) de Pernambuco, apresentando boas estimativas de erosividade para estas regiões, com r^2 de 0,67 e 0,89, respectivamente.

Este modelo foi escolhido devido a similaridade entre o clima da região estudada com o da região em que o modelo foi proposto. Assim, considerando que na bacia do rio Piauitinga existem duas regiões climáticas, Agreste (36,89%) e Litoral Úmido (63,11%), utilizou-se a Eq. 1 para a estimativa da erosividade no Agreste e a Eq. 2 para o Litoral Úmido.

$$EI_{30i} = 1,22 \cdot p_i^{1,18} \quad (1)$$

$$EI_{30i} = 0,216 \cdot p_i^{1,547} \quad (2)$$

$$R = \sum EI \quad (3)$$

em que, p_i é a precipitação média mensal e R é o somatório dos valores mensais de EI , dado em $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Os valores de EI somados isoladamente para cada precipitação em determinado período representa a erosividade da chuva (R) dentro daquele mesmo período. Já a somatória de todos os valores de EI das precipitações para um ano em um dado local, dará o valor anual de EI .

Para a determinação deste fator foram utilizados dados de precipitação pluviométrica mensal (mm) disponibilizados em seis estações pluviométricas com registros compreendidos

entre os anos de 1937 a 2013, obtidas no HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>) (Tabela 1).

Tabela 1. Estações pluviométricas na região de estudo.

Código	Responsável	Localização		Série (anos)
		Latitude	Longitude	
1037000	FASE	-10°58'00''	-37°37'00''	15
1137001	ANA	-11°01'49''	-37°28'42''	68
1137017	ANA	-11°16'00''	-37°26'35''	67
1137012	SUDENE	-11°08'00''	-37°30'00''	18
1037006	DNOCS	-10°55'00''	-37°22'00''	36
1037024	SUDENE	-10°52'00''	-37°29'00''	16

A erosividade da chuva, obtida pela equação de Cantalice et al. (2009), foi interpolada pelo método IDW, especializando assim, o fator R em formato matricial para toda a bacia estudada. Os valores de Erosividade anual foram avaliados conforme classificação proposta por Silva (2004): erosividade Baixa $R < 2452$, erosividade Média $2452 < R < 4905$, erosividade Média-Forte $4905 < R < 7357$, erosividade Forte $7357 < R < 9810$, erosividade Muito Forte $R > 9810$.

Erodibilidade dos solos (K)

Foram adotados fatores de Erodibilidade determinados para os solos semelhantes aos encontrados na região de estudo. Para isso, utilizou-se o mapa base de solos para o estado de Sergipe produzido pela EMBRAPA (1973) (Figura 2 e Tabela 2).

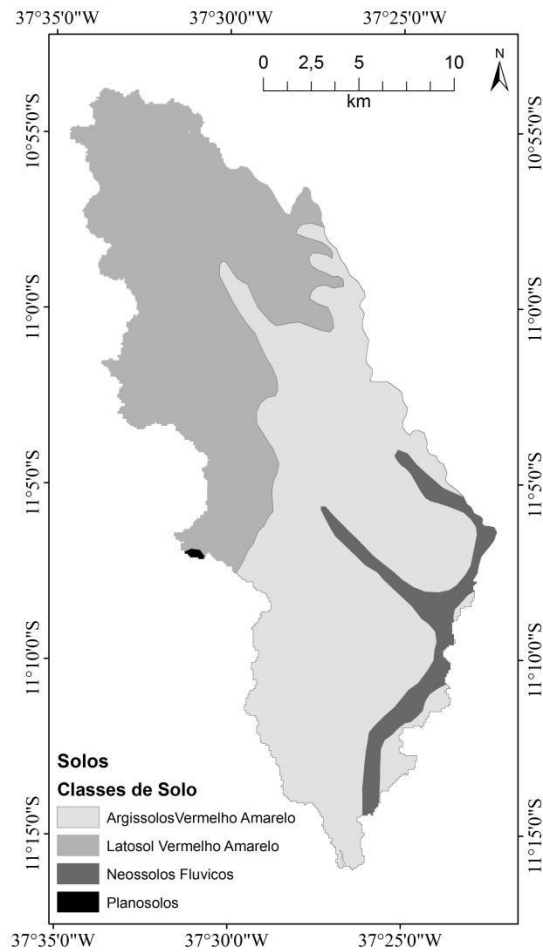


Figura 2. Classes de solo encontrados para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga (EMBRAPA, 1973).

Tabela 2. Fator de Erodibilidade (K) para os solos da bacia do Rio Piauitinga.

Tipo de Solo	Fator K ($\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{t.h}$)	Fonte
Latossolo vermelho amarelo (LV)	0,02	Chaves, 1994
Argissolo vermelho amarelo (PV)	0,021	Aragão et al., 2013
Planossolos (PLS)	0,012	Silva e Andrade 1994
Neossolos Flúvicos (A)	0,047	Chaves, 1994

Fator topográfico (LS)

O fator L foi determinado conforme modelo matemático desenvolvido por Desmet e Govers (1996) (Eq. 4).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}}{x^m . D^{m+2} . (22.13)^m} \quad (4)$$

Sendo L_{ij} : fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j); A_{ij} : área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2); D: tamanho da grade de células (m); x_{ij} : valor da direção do fluxo dado por: $x = \sin\alpha + \cos\alpha$, onde α = ângulo da direção de fluxo. O coeficiente m assume os valores: 0,5, se $s \geq 5\%$ (s é o grau de declividade); 0,4, se $3\% \leq s < 5\%$; 0,3, se $1\% \leq s < 3\%$; e 0,2, se $s < 1\%$.

Já o fator S foi definido de acordo com McCool et al. (1987) pelas equações 5 e 6.

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03 \text{ para } \tan \theta < 0,09 \quad (5)$$

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \text{ para } \tan \theta \geq 0,09 \quad (6)$$

A determinação deste fator foi viabilizada pela utilização de dados de altimetria (Modelo Numérico do Terreno – MNT), obtidos pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros, disponíveis na Agência Espacial Americana (NASA) site “<http://earthexplorer.usgs.gov>”. A partir destes dados foi possível obter valor de declividade, direção de fluxo, área acumulada e área de contribuição específica para cada célula.

Uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P)

O fator C da USLE foi determinado a partir da classificação manual do uso e ocupação do solo na bacia do rio Piauitinga. Esta classificação foi auxiliada por SIG mediante fotointerpretação em tela sobre as imagens RapidEye a partir das composições das bandas azul/verde/vermelho e verde/vermelho/infravermelho próximo. Essas imagens possuem correção geométrica e radiométrica, nível de processamento 3A, cinco bandas espectrais (azul 440 – 510 nm; verde 520 – 590 nm; vermelho 630 – 685 nm; borda do vermelho 690 – 730 nm e infravermelho próximo 760 – 850 nm) e resolução espacial de 5 metros. Tomaram-se três diferentes cenas do ano de 2013 (25 de janeiro e dias 07 e 12 de fevereiro), linhas 339/340 e colunas 21/22 (Figura 3B). Essas imagens foram fornecidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), maiores informações consultar manual em “http://blackbridge.com/rapideye/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf”. Foram utilizados ainda como elementos de interpretação visual das imagens a tonalidade, formas, texturas e porte.

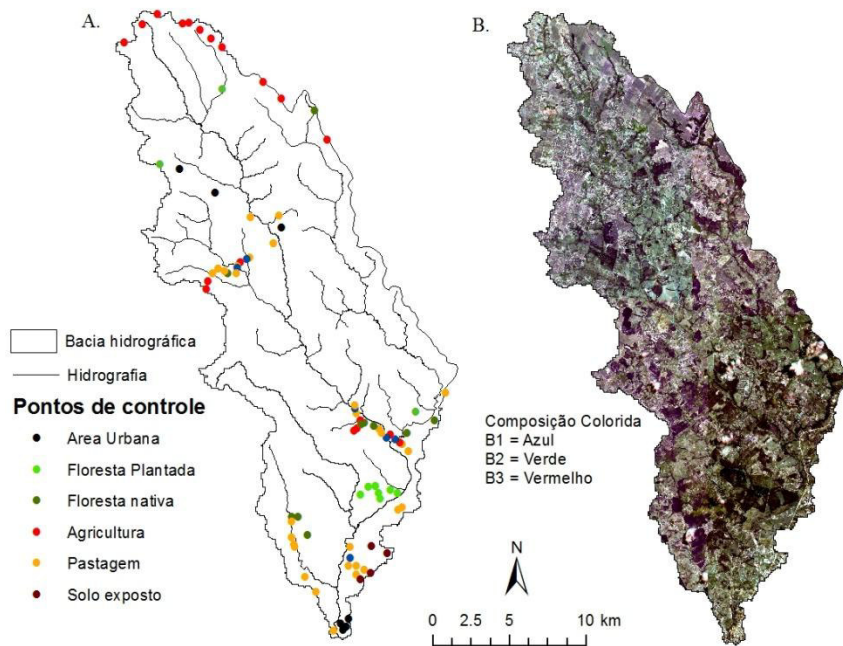


Figura 3. Pontos de controle (A) e imagens RapidEye (B) usadas para a determinação das classes de uso do solo na bacia do rio Piauitinga.

Inicialmente ocorreu a criação de um arquivo com o tipo de recurso polígono, anexando a devida referência espacial. Em seguida, analisou-se a imagem e foi demarcado com o polígono sete classes de uso do solo: Mata Nativa, Pastagem, Agricultura, Solo Exposto, Área Urbana, Corpos D'água e Nuvens.

Após a classificação, foram tomados em campo pontos de controle (Figura 3A) com um Sistema de Posicionamento Global (GPS) para avaliar o resultado da classificação através do índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977; CÂMARA et al., 1996) (Equação 7, Tabela 3).

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (7)$$

em que: \hat{K} - é o índice de concordância Kappa; r - o número de linhas na matriz; x_{ii} - o número de observações na linha $[i]$ e coluna $[i]$; x_{i+} e x_{+i} - totais marginais da linha $[i]$ e coluna $[i]$, respectivamente e N - o número total de observações.

Tabela 3. Níveis de concordância do Índice Kappa (CÂMARA et al., 1996).

Valor de Kappa	Nível de Concordância
< 0	1. Sem concordância
0-0,19	2. Pobre
0,20-0,39	3. Fraca
0,40-0,59	4. Moderada
0,60-0,79	5. Forte
0,80-1.00	6. Excelente

Com base nas diferentes classes de uso do solo, os fatores CP foram determinados para cada classe, adaptando-se os valores propostos por Stein et al. (1987) e Farinasso et al. (2006) (Tabela 4).

Tabela 4. Valores dos fatores CP adaptados de Stein et al., (1987) e Farinasso et al., (2006).

Uso do Solo	Fator CP	Autores
Mata Nativa	0,00004	Stein et al., (1987)
Pastagem	0,01	Stein et al., (1987)
Eucalipto	0,0001	Stein et al., (1987)
Agricultura	0,02	Stein et al., (1987)
Solo Exposto	1	Stein et al., (1987)
Área Urbana	0,000001	Farinasso et al., (2006)*
APPs	0,00004	Stein et al., (1987)
Corpos d'água	0	Stein et al., (1987)

* Multiplicação dos fatores C e P proposta por Farinasso et al., (2006)

DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs)

As APPs foram delimitadas pela faixa de influência em torno de cada elemento protegido legalmente, conforme as especificações do Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) e seguindo orientações de Peluzio et al. (2010).

Todo procedimento foi realizado em ambiente SIG, sendo delimitadas apenas as APPs nascentes (Buffers de 50 metros) e cursos d'água (Buffers de 30) através da utilização do mapa de hidrografia da região de estudo, obtida da Agência Nacional de Águas (ANA) na escala de (1:100.000). Assim, na categoria de APPs Nascentes foram considerados círculos com raio de 50 m ao redor das nascentes, tomando-se por origem o ponto associado a cada nascente. Nas APPs Cursos D'água foi considerado que todos os rios da bacia possuíam largura inferior a 10 m, portanto, essa categoria foi delimitada ao se estabelecer faixas de 30 metros para ambas as margens do curso d'água. Apenas estas classes de APPs foram

delimitadas em razão da identificação prévia da inexpressividade das demais classes de APPs na região de estudo.

O conflito de uso do solo nas APPs foi obtido a partir da sobreposição dos mapas de classes de APPs delimitadas e o mapa de uso do solo gerado através das imagens RapidEye.

MODELAGEM DE PERDA DE SOLO

De posse de todos os fatores da USLE e das classes de APPs mapeadas, foram estimadas as perdas de solo por erosão laminar considerando dois cenários do fatores CP. O primeiro cenário (C1) correspondeu às condições atuais de uso e cobertura da terra. No cenário dois (C2), a modelagem de perdas de solo foi realizada considerando as APPs preservadas (Lei 12.651/2012).

Para a realização destas estimativas, todos os fatores da USLE foram convertidos em planos de informação no formato matricial (raster) e cruzados em ambiente SIG. Os resultados foram classificados conforme adaptações da Food and Agriculture Organization – FAO (1967), sendo 0 – 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (perda Muito Baixa); 5 – 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Baixa); 10 – 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Moderada), 50 - 200 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Alta) e > 200 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Muito Alta).

3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas precipitações médias anuais de 1373,55 mm para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga, sendo os maiores índices pluviométricos registrados para os meses de maio, junho e julho. Já os valores de erosividade encontrados para a bacia apresentaram média de 4677,56 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, obtendo uma variação mínima e máxima de 2821,29 e 5660,54 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. De modo semelhante às precipitações, os meses de maior erosividade registrada foram maio, junho e julho (Figura 4).

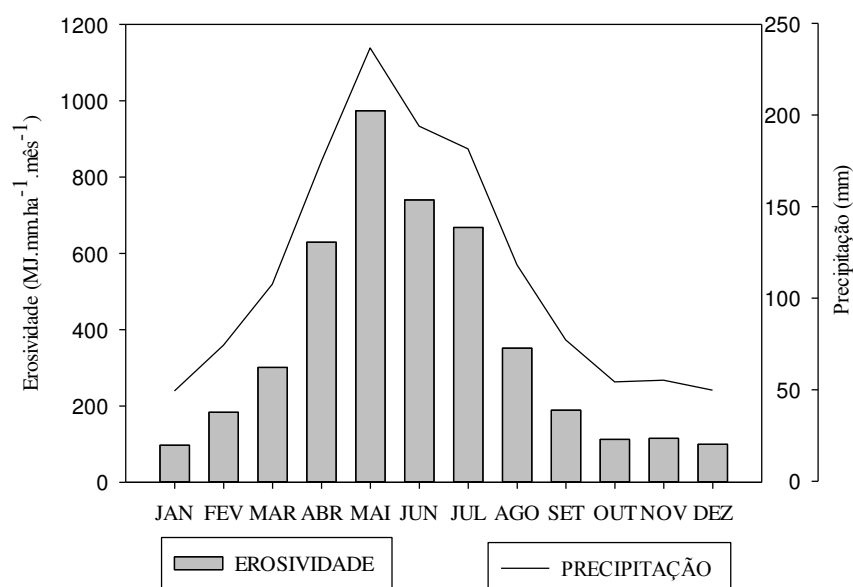


Figura 4. Precipitação (mm) e erosividade (MJ.mm.ha⁻¹.mês⁻¹) na bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

Alguns trabalhos também encontraram, para o estado de Sergipe, valores de erosividade similares aos da região estudada (SILVA, 2004; ARAGÃO et al., 2011). Por outro lado, Oliveira et. al., (2012b) encontraram valores entre 1672 a 2000 54 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ para o estado de Sergipe e parte da região Nordeste. Tal diferença pode, no entanto, estar relacionada ao uso de dados de poucas estações pluviométricas no trabalho destes autores, com sua maioria concentrada no estado de Pernambuco.

Segundo a classificação proposta por Silva (2004), a bacia apresentou erosividade Média em 51,56% da área (213,23 km²) e erosividade Média-Forte em 48,43% (200,61 km²). Nesta amplitude de variação, o mês que apresentou o maior valor de erosividade média foi maio (973,9 MJ.mm.ha⁻¹.mês⁻¹) e o mês de dezembro indicou a menor erosividade média

(99,83 MJ.mm ha⁻¹. mês⁻¹), o que corresponde aos meses de maior e menor precipitação, respectivamente (Figura 4). Resultados semelhantes também foram encontrados por Aragão et al. (2011) na bacia do rio Japarutuba - Sergipe, com maior erosividade no mês de maio (1260,5 MJ.mm.ha⁻¹.mês⁻¹) e menor no mês de dezembro (67,3 MJ.mm.ha⁻¹.mês⁻¹).

As declividades da bacia (fator S) foram agrupadas em quatro classes de declividade (EMBRAPA, 1999): 0 a 3% (Relevo Plano) 3 a 8% (Relevo Suave), 8 a 20% (Relevo Ondulado) e 20 a 45% (Relevo Forte Ondulado). As áreas que apresentaram relevos Plano e Suave, representando, portanto, classes de declividade que não favorecem os processos erosivos, totalizaram, juntas, 261,82 km² (63,3% da bacia). A classe de declividade entre 8 a 20% estão associadas a um escoamento superficial lento a médio e corresponderam a 136,77 km² (33,1% da bacia). Para a classe de declividade de 20 a 45%, que favorece um escoamento superficial de médio a rápido, foi totalizada uma área de 14,86 km² (3,69% da bacia) (Figura 5 B).

Junto com o fator comprimento de declive (L) foi determinado o fator topográfico (LS), apresentando valores entre 0,03 a 71,63 (Figura 5 C). Já os valores do fator erodibilidade do solo (K), situaram-se no intervalo entre 0,012 e 0,047 MJ⁻¹.mm⁻¹.t.h, com os planossolos apresentando os menores valores.

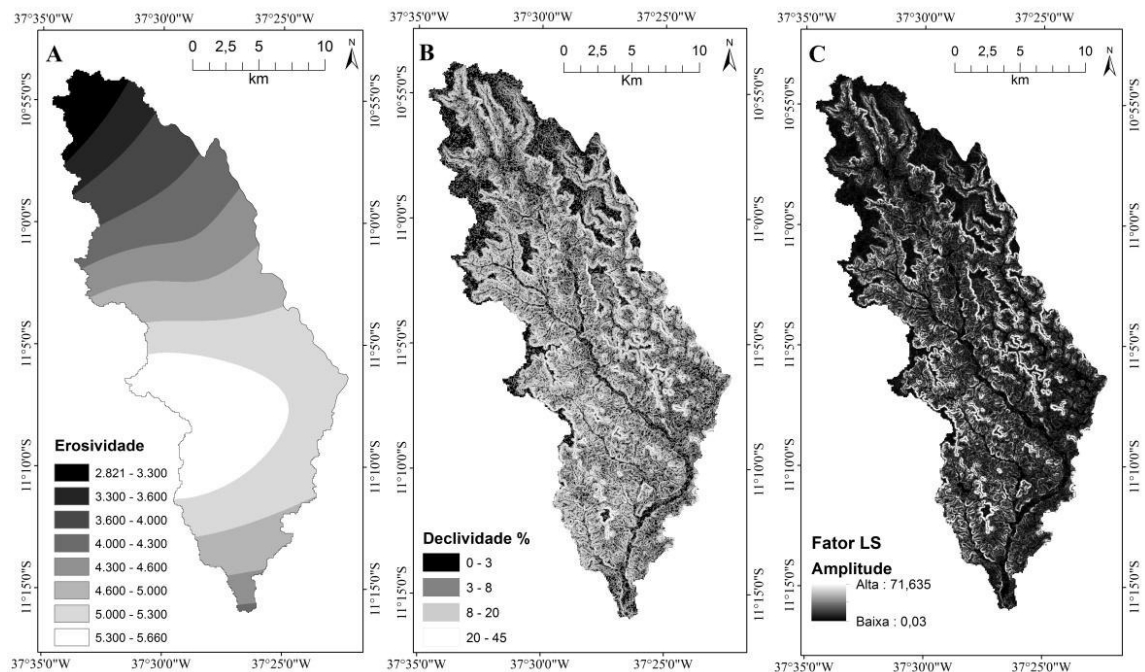


Figura 5. Mapas de Erosividade (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) da chuva (A); Declividade (B) e Fator Topográfico LS (C) para a bacia hidrográfica do rio Piauítinga.

Os fatores antrópicos, constituídos pela cobertura do solo e práticas conservacionistas, quando são avaliados junto aos fatores naturais podem atenuar ou aumentar a susceptibilidade dos solos à erosão. Na bacia do rio Piauitinga foram identificadas sete classes de uso e ocupação do solo para o cenário 1 (C1), obtendo uma excelente acurácia pelo índice kappa de 0,89. Já para o cenário 2 (C2), a inclusão das APPs totalizaram nove classes de uso do solo identificadas (Tabela 5). Apenas as APPs incluídas no Cenário 2 corresponderam a aproximadamente 1607 ha.

Tabela 5. Classes de uso e ocupação do solo para os diferentes cenários analisados: C1 (Uso do solo atual) e C2 (Uso do solo com APPs).

CENÁRIOS	USO DO SOLO	ÁREA (km ²)	%
Cenário 1	Mata Nativa	98,248	23,76
	Pastagem	207,926	50,29
	Eucalipto	4,322	1,05
	Agricultura	76,771	18,57
	Área Urbana	7,718	1,87
	Aquíferos	1,562	0,38
	Sombra*	7,722	1,87
	Solo exposto	9,164	2,22
Cenário 2	Mata Nativa	88,938	21,51
	APP Nascentes	0,321	0,08
	APP Cursos de água	15,758	3,81
	Pastagem	202,398	48,96
	Eucalipto	4,300	1,04
	Agricultura	76,223	18,44
	Área Urbana	7,661	1,85
	Aquíferos	1,411	0,34
	Sombra*	7,501	1,81
	Solo exposto	8,924	2,16

(*) Área não mapeada devido ao sombreamento por nuvens

Com as mudanças na vegetação natural pelas atividades antrópicas na bacia do rio Piauitinga, houve a predominância da agropecuária, com 50,29% da área (207,92 km²) transformada em pastagem e aproximadamente 18,44% (76,22 km²) utilizada para a agricultura, com predominância da citricultura, principalmente na região norte da bacia (Figura 6).

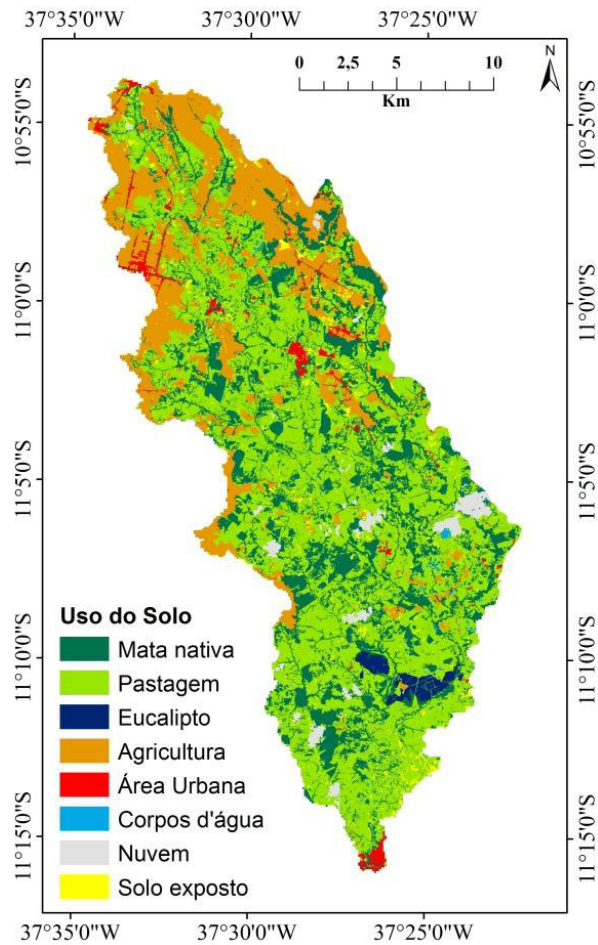


Figura 6. Mapa de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Piauitinga - Sergipe.

As classes de uso e ocupação do solo mapeadas que representam as ações antrópicas na transformação da paisagem, como Pastagem, Agricultura, Eucalipto, Área Urbana e Solo Exposto estão parcialmente situadas nas áreas legalmente protegidas, o que, neste caso, caracterizam o conflito de uso do solo (Tabela 6). Assim, em uma área de 1607 ha de APPs mapeadas (o que corresponde a 3,89% do total da bacia estudada), cerca de 637 ha (39,76%) das APPs estão ocupadas por uso indevido e aproximadamente 931 ha (57,91%) estão em conformidade com o uso regulamentado por lei federal (Lei 12.651/2012).

Tabela 6. Conflito de uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia do rio Piauitinga.

Uso do Solo nas APPs	Área (ha)	%
Mata Nativa	931,00	57,91
Eucalipto	2,00	0,13
Pastagem	552,00	34,38
Agricultura	54,00	3,40
Solo exposto	24,00	1,49
Área Urbana	05,00	0,35
Aquíferos	15,00	0,93
Sombra	22,00	1,37
Total	1607	100

As classes Pastagem e Agricultura foram as que apresentaram maior representatividade no conflito de uso do solo, ocupando cerca de 552,00 ha (34,38%) e 54,00 ha (3,40%) da área das APPs, respectivamente. Já para o conflito Área Urbana, foi observado uma área de 5 ha (0,35%), o que indica um crescimento urbano que não atentou para um planejamento prévio levando em consideração as APPs.

Barros (2012) encontrou para a microbacia hidrográfica do Ceveiro – SP, 38,54% das APPs ocupadas pela agricultura (monocultura canavieira) e 21,41% por pastagem. Paes (2010) analisando as bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí – MG, também encontrou os maiores conflitos de uso para as classes Pastagem (46,8%) e agricultura (22,8%). Do mesmo modo, Rodrigues et al. (2013) também encontraram altas porcentagens das APPs em conflitos com pastagem (27,94%) e agricultura (4,84%) na bacia do rio Pajeú, estado de Pernambuco. Assim, os resultados obtidos no presente trabalho e nos trabalhos supracitados indicam que o descumprimento da legislação ambiental pode ser uma problemática de escala nacional.

Com relação às perdas de solo, os dois cenários estudados (C1 e C2) apresentaram média ponderada de erosão na classe moderada ($10\text{-}50\text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$). Todavia, foi verificada maior parte da área com erosão entre as classes Muito Baixa ($0\text{-}5\text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$), Baixa ($5\text{-}10\text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$) e Moderada ($10\text{-}50\text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$) (Tabela 7 e Figura 7). Estes valores correspondem à média encontrada nas áreas tropicais e subtropicais da Ásia, América do Sul e África, onde a perda de solo foi estimada em aproximadamente $30\text{-}40\text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$ (TADDESE, 2001).

Tabela 7. Classes de perdas de solo na bacia hidrográfica do rio Piauitinga para diferentes cenários analisados: C1 (Uso do solo atual) e C2 (Uso do solo com APPs).

CENÁRIOS	CLASSES DE EROSÃO ($\text{ton}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}$)	CLASSIFICAÇÃO	ÁREA (km^2)	%
Cenário 1	0-5	Muito Baixa	168,23	40,82
	5-10	Baixa	65,98	16,01
	10-50	Moderada	147,30	35,74
	50-200	Alta	20,13	4,88
	> 200	Muito Alta	3,13	0,76
	Sombra	Sombra	7,3	1,8
Cenário 2	0-5	Muito Baixa	171,78	41,68
	5-10	Baixa	64,71	15,70
	10-50	Moderada	145,46	35,29
	50-200	Alta	19,94	4,84
	> 200	Muito Alta	3,02	0,73
	Sombra	Sombra	7,3	1,8

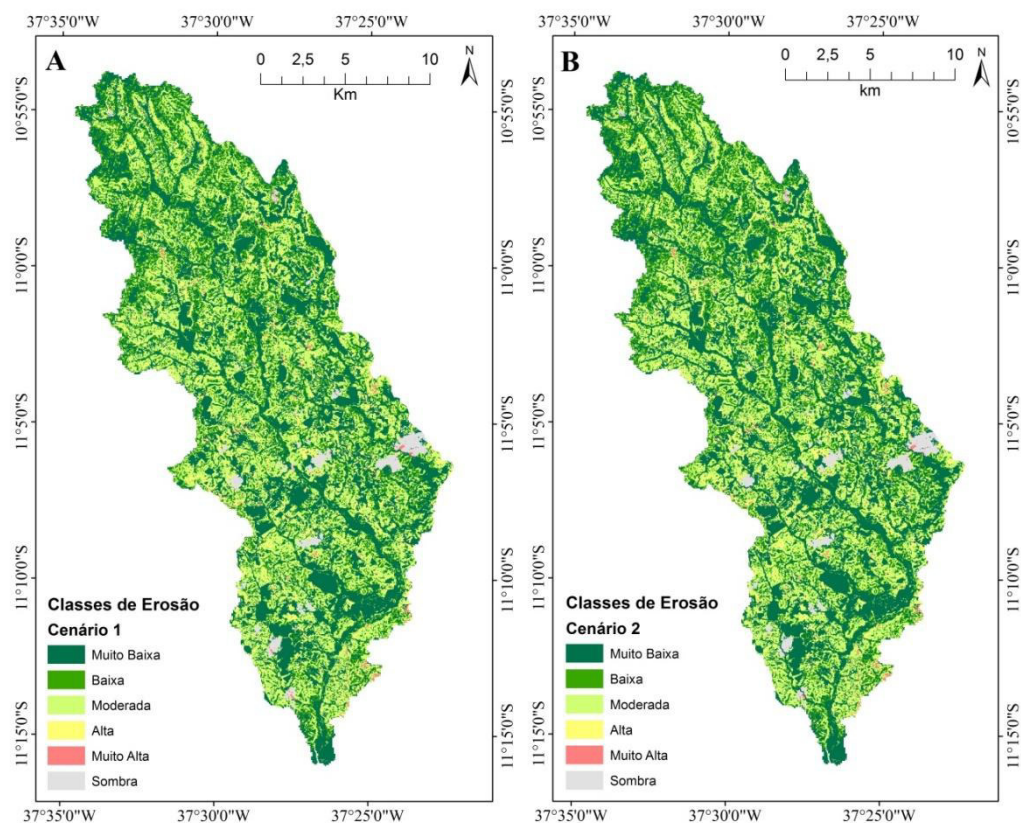


Figura 7. Classes de perdas de solo para o Cenário 1 (A) e Classes de perdas de solo para o Cenário 2 (B).

Para os Estados Unidos da América, Wischmeier e Smith (1978) estabeleceram níveis de tolerância de perdas de solo da ordem de 4,5 a 11,5 $\text{ton}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}$. Já para o Brasil, os

estudos pioneiros realizados por Lombardi Neto e Bertoni (1975) apontaram valores de tolerância de perda de solo entre 4,5 a 13,4 e de 9,6 a 15,0 $\text{ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$ para solos de São Paulo, com horizontes B textural e B latossólico, respectivamente. Em comparação a isso, as perdas de solo menores do que 10 $\text{ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$, corresponderam a 56,83% no Cenário 1 e 57,38% para o Cenário 2 da área da bacia. Deste modo, verifica-se que as perdas de solo na maior parte da bacia estão compatíveis com a taxa de formação desses solos. Por outro lado, as classes de erosão onde há mais perda de solo do que a taxa de formação (Classe Moderada, Alta e Muito Alta) representam 41,38% para o Cenário 1 e 40,86% para o Cenário 2. Assim, essas áreas merecem atenção especial, principalmente quando a elas são incorporados manejo agrícola e pastagens.

Em termos quantitativos, houve uma diferença discreta nas perdas de solo entre os Cenários 1 e 2, isso quando comparado à bacia hidrográfica como um todo. Estes resultados estão relacionados às baixas declividades nas áreas de APPs e devido ao fator LS estar, na região estudada, associado aos valores elevados de perdas de solo. Além disso, 57,9% das APPs estão cobertas por vegetação nativa, conforme regulamenta a legislação federal (Lei 12.651/2012), e 34,38% estão cobertas por pastagens, que possuem valores de CP medianos.

Por outro lado, quando analisadas apenas as áreas de APPs, houve uma redução nas estimativas de erosão, sendo observado que, para o Cenário 1, as classes de erosão Moderada, Alta e Muito Alta corresponderam a 12%, 1,2% e 0,7% das APPs mapeadas, respectivamente. Já para o cenário 2 estas classes corresponderam a 2,8%, 0,24% e 0,11% das APPs. As classes Muito Baixa e Baixa para o Cenário 1 representaram, juntas, 85,1% da área das APPs e 96,6% para o Cenário 2.

Barros (2012) observou eficácia das APPs na redução da erosão para a microbacia hidrográfica do Ceveiro - SP, obtendo um aumento de 11,83% na classe de erosão 0-20 $\text{Mg}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$ e uma redução de 12,54%, 9,21% e 10,24% para as classes 20-50, 50-100 e >100 $\text{Mg}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$, respectivamente. Coutinho (2010) e Junior et al. (2012) também observaram redução média de 32,2% e 99,85%, respectivamente, nas perdas de solo considerando as APPs regeneradas para duas bacias hidrográfica no estado do Espírito Santo.

É importante ressaltar que, apesar da análise quantitativa aqui expressa, as limitações intrínsecas a USLE (ex.: adoção de condições uniformes e não levar em consideração a deposição) nos remete a uma análise qualitativa dos resultados, corroborando assim com Stein et al., (1987), que concluíram ser a USLE mais eficaz na análise qualitativa em grandes áreas

como bacias hidrográficas. Assim, os valores de perdas de solo por erosão não podem, categoricamente, ser tomados como dados reais, servindo apenas para espacializar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar (FARINASSO, et al., 2006).

À parte disso, vale destacar a observância à legislação ambiental, já que áreas ocupadas com usos menos intensivos, como mata, reflorestamento e vegetação ciliar podem reduzir as taxas estimadas de perdas de solo (MINGOTI, 2009; COUTINHO, 2010; PAES, 2010; WEILL e SPAROVEK, 2008; RUHOFF, 2004; BARROS, 2012; MIQUELONI et al., 2012; JUNIOR et al., 2012), principalmente em áreas declivosas.

3.7. CONCLUSÕES

Os dados coletados pelo sensor RapidEye e as técnicas de geoprocessamento geraram informações confiáveis sobre os diferentes alvos de ocupação do solo.

Para as áreas com maiores declividades, e, por conseguinte, elevados valores do fator LS, foram encontrados maiores valores de perdas de solo.

Grande parte da bacia do rio Piauitinga (41,38% para o Cenário 1 e 40,86% para o Cenário 2) merece atenção especial quanto a incorporação de processos produtivos, principalmente manejo agrícola e pastagens, já que estas áreas apresentaram erosão do solo nas classes Moderada, Alta e Muito Alta.

A simulação do cenário legal (C2) mostrou eficácia na mitigação das perdas de solo nas áreas de APPs, o que indica a necessidade de promover a recuperação destas áreas e controlar o processo de ocupação desordenada, reduzindo assim os processos erosivos.

4. ARTIGO II: IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIAUITINGA-SE

RESUMO

As mudanças climáticas, provocadas pelas ações antrópicas, vêm provocando cada vez mais alterações nas precipitações e perdas de solos nas bacias hidrográficas brasileiras. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar o Potencial Natural de Erosão Laminar através dos fatores naturais da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE ($PNE = RKLS$) para vários cenários climáticos na bacia hidrográfica do rio Piauitinga. Para isso, foram considerados quatro Cenários Climáticos, sendo três deles oriundos do Global Climate Model (GCM), gerados pelo Community Climate System Model (CCSM) para o 4º Relatório de avaliação do IPCC: Cenário Atual, Cenário Otimista (B1 2000-2099), Cenário Médio (A1B 2000-2099) e Cenário Pessimista (A2 2000-2099). Os resultados apontaram para uma mudança nos padrões de precipitação para a bacia do rio Piauitinga, deslocando o atual período de maior precipitação mensal (maio, junho e julho) para os meses de fevereiro, março e abril. Houve ainda uma redução da erosividade na bacia para os cenários Otimista B1, Médio A1B e Pessimista A2 em razão da diminuição das precipitações estimadas. Além disso, foi observada uma redução da erosão estimada do Cenário Atual para o cenário Otimista B1 de 26,83%, 44,47% para o cenário Médio A1B e 50,51% para o cenário Pessimista A2.

Palavras-Chave: Sistemas de Informação Geográfica, erosão do solo, Mudanças climáticas.

ABSTRACT

Climate change, caused by human activities, have led increase changes in rainfall and loss of soil in Brazilian watersheds. The objective of this study was to estimate the Potential Natural of Laminar Erosion. For this, we used the natural factors of Universal Soil Loss Equation - USLE ($PNE = RKLS$) to various climate scenarios in the basin of river Piauitinga. Four scenarios climate were considered, three of them arising from the Global Climate Model (GCM), generated by the Community Climate System Model (CCSM) to the 4th IPCC Assessment Report: Current Scenario, Scenario Optimistic (B1 2000-2099), Middle scenario (A1B 2000- 2099) and Pessimistic scenario (A2 2000-2099). The results point to a change in precipitation patterns in the basin of the river Piauitinga, shifting the current period of highest monthly rainfall (May, June and July) to the months of February, March and April. There was also a reduction of erosivity in the basin for the scenarios Optimistic B1, Medium A1B and Pessimistic A2 due to the decrease in estimated rainfall. In addition, there was a reduction in the estimated erosion of Current scenario for scenario Optimistic B1 of 26.83%, 44.47% for the scenario Medium A1B and 50.51% for the Pessimistic scenario A2.

Key-words: Geographic Information System, soil erosion, climate change.

4.4. INTRODUÇÃO

A erosão é o processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, sendo a principal causa da degradação e depauperamento acelerado das terras (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Este fenômeno é causado pela supressão de extensas áreas vegetadas, aumento da urbanização, atividades agropecuárias, manejo inadequado do solo, características do solo, topografia do terreno e precipitação (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; CASTRO e VALÉRIO FILHO, 1997; BUENO e STEIN, 2004; ÖZHAN et al., 2005; CAMPOS et al., 2008; WEILL e SPAROVEK, 2008; MAEDA et al., 2010; JUNIOR et al., 2012). Dentre estes fatores, as enxurradas provocadas pela precipitação pluviométrica possibilita movimentar com facilidade as partículas do solo e, quando associado à declividade das encostas e ausência de vegetação, este processo é acelerado.

Adicionalmente, são esperadas alterações nas taxas de erosão do solo em resposta às mudanças no clima por uma variedade de razões, como a alteração da potência erosiva da precipitação, mudanças de erodibilidade do solo, mudanças no uso da terra e mudanças na umidade do solo (IPCC, 2013; MONDAL et al., 2014; GARBRECHT, et al., 2014; ZHANG et al., 2012; DELGADO et al., 2011). Para Delgado et al. (2011), o crescimento da população e a dinâmica das mudanças climáticas também irá exacerbar outras questões, tais como a desertificação, desmatamento, erosão, degradação da qualidade da água e esgotamento dos recursos hídricos.

De fato, existe um crescente consenso entre os pesquisadores do clima a cerca do aumento nas temperaturas globais para os próximos séculos, o que levará a mudanças nos padrões climáticos globais, tanto em termos de temperatura quanto de precipitação (PARRY et al. 2007 ; IPCC, 2007,2013; MARENGO et al., 2010; DELGADO, et al., 2011; MARENGO et al., 2012; MONDAL et al., 2014). O Brasil, de modo particular, apresenta alta vulnerabilidade às alterações climáticas. Segundo Marengo et al. (2010), os efeitos das mudanças climáticas no país já podem ser observados nas secas e desertificação que vem ocorrendo no Nordeste e nas chuvas intensas que vêm ocorrendo nos estados do Sul e do Sudeste. Para Oliveira (2010), a tendência é de que para a região Nordeste haja aumento na frequência de dias secos consecutivos, o que também se observa para o norte da região Sudeste.

Estudos do potencial efeito das mudanças climáticas sobre a hidrologia e recursos hídricos começaram em meados da década de 1980, quando o IPCC foi criado. De lá pra cá,

vários trabalhos foram desenvolvidos considerando os efeitos das mudanças climáticas sobre a atenuação ou agravamento das perdas de solo em várias partes do mundo (PRUSKI e NEARING, 2002; AMORIM et al., 2008; MARENGO et al., 2010; ZHANG et al., 2012; MONDAL et al., 2014; OLIVEIRA, 2010; GARBRECHT, et al., 2014; NEARING et al., 2004; LELIS et al., 2011).

Todos esses efeitos provocados pelas mudanças climáticas na erosão do solo tem aumentado o interesse na modelagem e estimativas de perdas de solo, de modo a diagnosticar, endereçar problemas e gerar informações úteis à gestão da ocupação antrópica em bacias hidrográficas (NEARING et al., 1994). Com isso, diversos modelos empíricos têm sido usados para a predição da erosão hídrica, no entanto, a USLE possui grande divulgação, principalmente pela facilidade de uso e simplicidade.

A equação Universal de Perda de Solo (USLE) é um modelo de base empírica que foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) e tem sido vastamente usado para estimar as perdas de solo ou estimar os valores numéricos dos diferentes componentes do processo erosivo: $A = RKLSCP$, onde A = perda de solo por erosão ($t.ha^{-1}ano^{-1}$); R = fator chuva, erosividade ($MJ.mm.ha^{-1}h^{-1}ano^{-1}$); K = fator de erodibilidade do solo ($MJ^{-1}.mm^{-1}.t.h$); L = fator comprimento do declive; S = fator grau do declive; C = fator uso e manejo; P = fator prática conservacionista.

Várias metodologias tem surgido para aperfeiçoar a determinação dos fatores da USLE (CANTALICE et al., 2009; CHAVES, 1994; SILVA e ANDRADE 1994; DESMET e GOVERS, 1996; MCCOOL et al., 1997; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990), tornando-a um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão laminar. Além disso, esta equação possui boa integração com os Sistemas de informações Geográficas (SIG) e consegue fornecer parâmetros para o planejamento do uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas a fim de reduzir as perdas de solo a níveis aceitáveis (MIQUELONI et al., 2012).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem realizar operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações, modelagem de informações espacialmente distribuídas e, combinados com os modelos de predição de erosão hídrica, constituem uma importante ferramenta de quantificação e espacialização da perda de solo, estimativas de áreas de risco, formulação de prognósticos e diagnósticos ambientais, assim como a análise de cenários conservacionistas e impactos advindos das alterações climáticas sobre a erosão do

solo (MINGOTI, 2009; ZHANG et al., 2012; NEARING et al., 2004; MONDAL et al., 2014; YANG et al., 2003; MAEDA et al., 2010).

Poucos estudos têm sido feitos sobre os impactos esperados das mudanças climáticas sobre a erosão laminar em bacias hidrográficas utilizando a USLE como ferramenta de predição. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi estimar o Potencial Natural de Erosão Laminar através dos fatores naturais da USLE ($PNE = RKLS$) para vários cenários climáticos na bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

4.5. MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Piauitinga está localizada no estado de Sergipe, Nordeste do Brasil, entre o agreste e o litoral úmido (Figura 8). Apresenta clima Megatérmico Subúmido (THORNTHWAITE e MATHER, 1955) com temperaturas médias anuais variando entre 24,2°C e 25°C, precipitações anuais entre 1100 mm e 1400 mm e período chuvoso compreendido entre os meses de março e agosto (SERGIPE, 2004). Possui uma área geográfica aproximada de 412,14 km², abrange parte do território dos municípios de Lagarto, Boquim, Itaporanga D'Ajuda, Salgado e Estância e sua população é estimada em aproximadamente 300.000 habitantes (IBGE, 2012).

O rio Piauitinga possui 59,28 km de extensão e sua foz localiza-se próximo à sede do município de Estância, desembocando no rio Piauí. Esta região é um importante componente da rede hidrográfica sergipana, sendo seu sistema hidrográfico constituído pelo curso d'água principal e por vários afluentes, destacando-se os rios do Grotão, Capivaras, Riachão e Grilo.

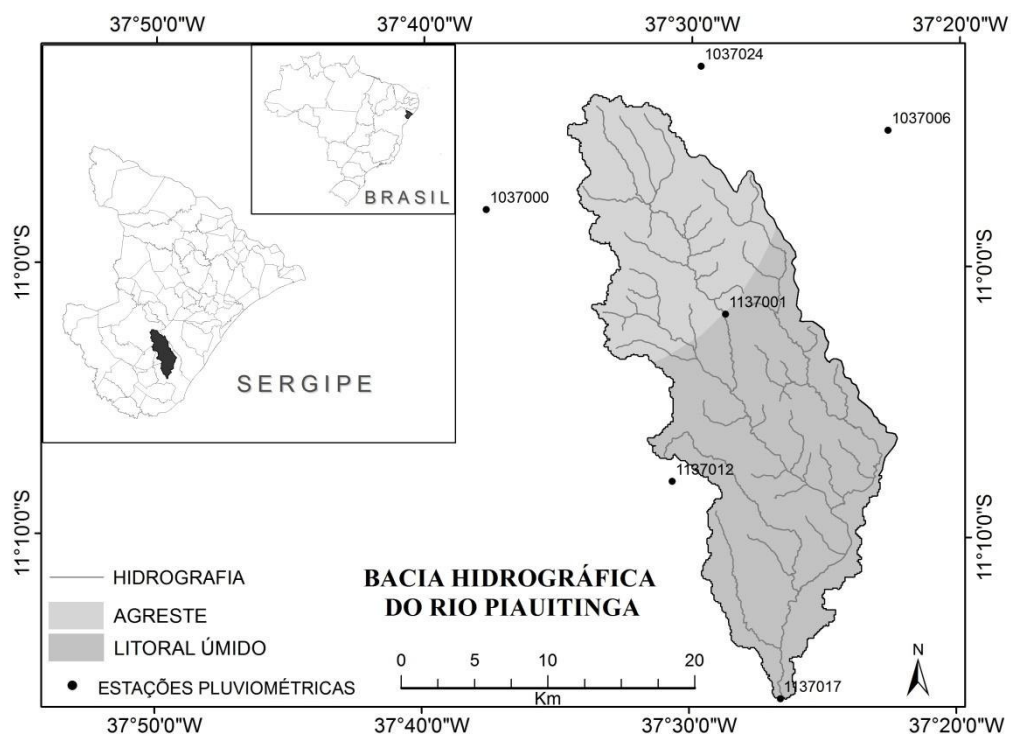


Figura 8. Localização da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, regiões climáticas e estações pluviométricas da região.

A geomorfologia da região é predominada por sedimentos terciários do grupo barreiras, tabuleiro costeiro com superfície tabular erosiva e relevos dissecados em colinas, interflúvios tabulares e superfície pediplanada sertaneja (SERGIPE, 2012). Possui um planalto de topografia suave sulcado por vales fluviais com maior altitude (195 m) localizada na cabeceira do rio Piauitinga, no povoado Brasília. Quanto aos solos, existe a predominância de Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico e Planossolos (EMBRAPA, 2013).

BASE DE DADOS

Foram utilizados dados climáticos (precipitação mensal) disponibilizados em seis estações pluviométricas com registros compreendidos entre os anos de 1937 a 2013, obtidas no HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>) (Tabela 8). Estes dados representaram o Cenário Atual para as estimativas do potencial de erosão laminar na bacia.

Tabela 8. Estações pluviométricas na região de estudo.

Código	Responsável	Localização		Série (anos)
		Latitude	Longitude	
1037000	FASE	-10°58'00''	-37°37'00''	15
1137001	ANA	-11°01'49''	-37°28'42''	68
1137017	ANA	-11°16'00''	-37°26'35''	67
1137012	SUDENE	-11°08'00''	-37°30'00''	18
1037006	DNOCS	-10°55'00''	-37°22'00''	36
1037024	SUDENE	-10°52'00''	-37°29'00''	16

Para os cenários de projeções climáticas, foi utilizado conjunto de dados de precipitação mensal oriundos do Global Climate Model (GCM), gerados pelo Community Climate System Model (CCSM) para o 4º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) e distribuídos através dos NCAR em cenários de alterações climáticas em formato GIS (distanciados 1,4 grau ou ~ 155 km), disponível em <http://www.gisclimatechange.org>. Assim, para a determinação da erosividade

da chuva foram obtidos dados de três cenários de precipitação para a região de estudo (IPCC, 2007):

- Cenário Otimista (Low B1 2000-2099) – Principais características deste cenário incluem: baixo crescimento populacional, elevado crescimento do PIB, baixo consumo de energia, elevada mudança no uso da terra, baixa disponibilidade de recursos (principalmente petróleo e gás), ritmo médio e direção da mudança tecnológica favorecendo a eficiência e desmaterialização. Faixa provável de aumento da temperatura entre 1,1 – 2,9 °C.
- Cenário Médio (Medium A1B 2000-2099) - Principais características deste cenário incluem: baixo crescimento populacional, crescimento muito elevado do PIB, alto uso de energia, baixa-média mudanças no uso da terra, disponibilidade média de recursos (principalmente petróleo e gás), ritmo rápido e direção da mudança tecnológica favorecendo um desenvolvimento equilibrado. Faixa provável de aumento da temperatura entre 1,7 – 4,4 °C.
- Cenário Pessimista (High A2 2000-2099) - Principais características deste cenário incluem: alto crescimento populacional, crescimento médio do PIB, alto uso de energia, alterações média-alta no uso da terra, baixa disponibilidade de recursos (principalmente petróleo e gás), ritmo lento e direção da mudança tecnológica favorecendo o desenvolvimento económico regional. Faixa provável de aumento da temperatura entre 2,0 – 5,4 °C.

O mapa de solos foi obtido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na escala de 1:400.000 (Figura 9B). Já a altimetria da área foi extraída do Modelo Numérico do Terreno (MNT), obtido pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros (Figura 9A), disponíveis na Agência Espacial Americana (NASA), site “<http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>”.

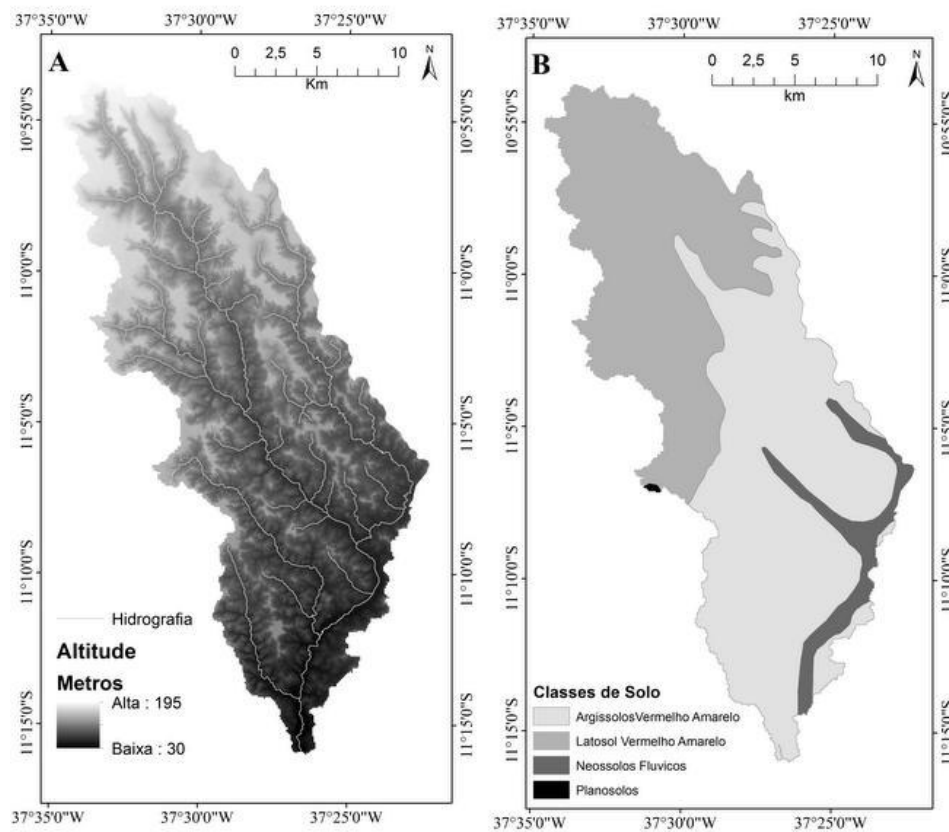


Figura 9. Modelo Numérico do Terreno obtidos através dos dados SRTM (A) e mapa de solos (B) para a bacia do rio Piauitinga .

DETERMINAÇÃO DOS FATORES DO PNE

Erosividade (R)

Os dados históricos de precipitação da região estudada, bem como os dados projetados pelo Global Climate Model (GCM) foram utilizados para calcular a erosividade das chuvas. Para isso, empregou-se o modelo de potência $Y = ax^b$ desenvolvido por Cantalice et al. (2009). Este modelo foi ajustado para as regiões do Agreste (Eq. 8) e Zona da Mata (Eq. 9) de Pernambuco, apresentando boas estimativas de erosividade para estas regiões, com r^2 de 0,67 e 0,89, respectivamente. Assim, assumindo que na bacia do rio Piauitinga existem duas regiões climáticas, Agreste (36,89%) e Litoral Úmido (63,11%), foi utilizada a equação 8 para estimar a erosividade na região Agreste, enquanto a equação 9 estimou esta variável para a região Litoral Úmido.

$$EI_{30i} = 1,22 \cdot p_i^{1,18} \quad (8)$$

$$EI_{30i} = 0,216 \cdot p_i^{1,547} \quad (9)$$

$$R = \sum EI \quad (10)$$

em que, p_i é a precipitação média mensal e R é o somatório dos valores mensais de EI .

Os valores de EI somados isoladamente para cada precipitação em determinado período representa a erosividade da chuva – R ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$) dentro daquele mesmo período. Já a somatória de todos os valores de EI das precipitações para um ano em um dado local, dará o valor anual de EI .

Os valores de erosividade encontrados para a região estudada foram interpolados (IDW), espacializados para toda a bacia e avaliados conforme classificação proposta por Silva (2004): erosividade Baixa $R < 2452$, erosividade Média $2452 < R < 4905$, erosividade Média-Forte $4905 < R < 7357$, erosividade Forte $7357 < R < 9810$, erosividade Muito Forte $R > 9810$.

Erodibilidade dos solos (K)

Para a determinação do fator Erodibilidade foi utilizado o mapa de solos para o estado de Sergipe produzido pela EMBRAPA (1973). Assim, adotaram-se valores de Erodibilidade determinados para os solos semelhantes aos encontrados na região de estudo (Tabela 9).

Tabela 9. Fator de Erodibilidade (K) para os solos da bacia do Rio Piauitinga.

Tipo de Solo	Fator K ($\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{t.h}$)	Fonte
Latossolo vermelho amarelo (LV)	0,02	Chaves, 1994
Argissolo vermelho amarelo (PV)	0,021	Aragão et al., 2013
Planossolos (PLS)	0,012	Silva e Andrade, 1994
Neossolos Flúvicos (A)	0,047	Chaves, 1994

Fator topográfico (LS)

O fator L foi determinado conforme modelo matemático desenvolvido por Desmet e Govers (1996) (Equação 11):

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m} \quad (11)$$

sendo L_{ij} : fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j); A_{ij-in} : área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2); D: tamanho da grade de células (m); x_{ij} : valor da direção do fluxo dado por: $x = \sin\alpha + \cos\alpha$, onde α = ângulo da direção de fluxo. O coeficiente m assume os valores: 0,5, se $s \geq 5\%$ (s é o grau de declividade); 0,4, se $3\% \leq s < 5\%$; 0,3, se $1\% \leq s < 3\%$; e 0,2, se $s < 1\%$.

Já o fator S foi definido de acordo com McCool et al. (1987) pelas equações 12 e 13.

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03 \text{ para } \tan \theta < 0,09 \quad (12)$$

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \text{ para } \tan \theta \geq 0,09 \quad (13)$$

Ambos os fatores (LS) foram determinados a partir dos valores de altitude do MNT, sendo possível obter o valor de declividade, direção de fluxo, área acumulada e área de contribuição específica para cada célula.

ESTIMATIVA DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO - PNE

O Potencial Natural de Erosão Laminar (PNE) corresponde às perdas de solo considerando apenas os fatores naturais, sendo estimadas pelo produto dos termos R, K, L e S da USLE (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008). Com esta metodologia, pode-se, portanto, representar a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar.

Os valores de erosividade, obtidos pela equação de Cantalice et al. (2009), foram interpolados pelo método IDW, especializando assim, o fator R em formato matricial para toda a bacia estudada. Do mesmo modo, os valores de erodibilidade (fator K) do solo foram convertidos para o formato matricial e espacializados para toda a bacia. Com os dados correspondentes ao fator topográfico determinado para a região, foi possível realizar o cruzamento matricial em ambiente SIG e determinar os valores potenciais de erosão laminar para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga, sendo $PNE = RKLS$.

Os valores de PNE foram transformados em classes e ordenados em seis categorias, conforme Correa e Sanjos Pinto (2012): Muito Baixo (0 - 50 $t.ha^{-1} ano^{-1}$); Baixo (50 - 100 $t.ha^{-1} ano^{-1}$); Médio (100-200 $t.ha^{-1} ano^{-1}$); Alto (200 - 600 $t.ha^{-1} ano^{-1}$); Muito Alto (600 - 1000 $t.ha^{-1} ano^{-1}$) e Extremamente Alto (> 1000 $t.ha^{-1} ano^{-1}$). Essas classes foram tomadas como dados quantitativos de perdas de solo por erosão, sendo, portanto, úteis à categorização qualiquantitativa das áreas de maior ou menor suscetibilidade à erosão laminar.

4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Piauitinga apresentou, segundo o Cenário Atual, valores de precipitação média anual de 1373,55 mm, estimado através dos dados das estações pluviométricas da região. Para os cenários de projeções climáticas Otimista (Low B1), Médio (Medium A1B) e Pessimista (High A2) do Global Climate Model - GCM, houve, em relação ao Cenário Atual, uma redução nas precipitações médias anuais de 28,43%, 31,26% e 36,6%, respectivamente. Já para a erosividade média das chuvas, esta redução foi estimada em 36,91%, 40,29% e 46,76%, respectivamente (Tabela 10). Esses resultados estão em consonância com as tendências apontadas por Oliveira (2010), que relata mudanças climáticas tanto em termos de temperatura quanto de precipitação, havendo aumento na frequência de dias secos consecutivos para o Nordeste e para o norte da região Sudeste.

Tabela 10. Precipitação média anual e Erosividade média anual para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

CENÁRIOS	PRECIPITAÇÃO ANUAL	MÍNIMA	MÁXIMA
Atual	1373,55 ± 89,66	1101,18	1588,63
Otimista (Low B1)	1126,08 ± 17,51	1083,76	1155,15
Médio (Medium A1B)	943,72 ± 18,17	899,27	972,69
Pessimista (High A2)	870,41 ± 16,23	830,42	895,93
CENÁRIOS	EROSIVIDADE ANUAL	MÍNIMA	MÁXIMA
Atual	4677,56 ± 685,57	2821,29	5660,54
Otimista (Low B1)	3510,46 ± 91,38	3300,61	3679,14
Médio (Medium A1B)	2664,97 ± 64,35	2508,69	2766,7
Pessimista (High A2)	2376,24 ± 50,21	2250,81	2451,09

Segundo a classificação proposta por Silva (2004), foi identificado para os cenários Otimista B1 e Médio A1B uma erosividade Média para toda a bacia estudada. Para o cenário Pessimista A2, a erosividade foi classificada como Baixa, apresentando mínimas de 2250 e máximas de 2451 MJ.mm.ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹. Já para o Cenário Atual, foi observada 51,52% (213,23 km²) da área classificada como erosividade Média e 48,48% (200,61 km²) como erosividade Média-Forte.

Os valores do fator erodibilidade do solo (K), situaram-se no intervalo entre 0,012 e 0,047 MJ⁻¹.mm⁻¹.t.h, com os planossolos apresentando os menores valores. Já as declividades da bacia (fator S) foram agrupadas em quatro classes de declividade (EMBRAPA, 1999): 0 a 3% (Relevo Plano), 3 a 8% (Relevo Suave), 8 a 20% (Relevo Ondulado) e 20 a 45% (Relevo Forte Ondulado). As áreas que apresentaram relevos Plano e

Suave, representando, portanto, classes de declividade que não favorecem os processos erosivos, totalizaram juntas, 261,82 km² (63,3% da bacia). A classe de declividade entre 8 a 20% estão associadas a um escoamento superficial lento a médio e corresponderam a 136,77 km² (33,1% da bacia). Para a classe de declividade de 20 a 45%, que favorece um escoamento superficial de médio a rápido, foi totalizada uma área de 14,86 km² (3,6% da bacia) (Figura 10A). Junto com o fator comprimento de declive (L) foi determinado o fator topográfico (LS), apresentando valores entre 0,03 a 71,63 (Figura 10B).

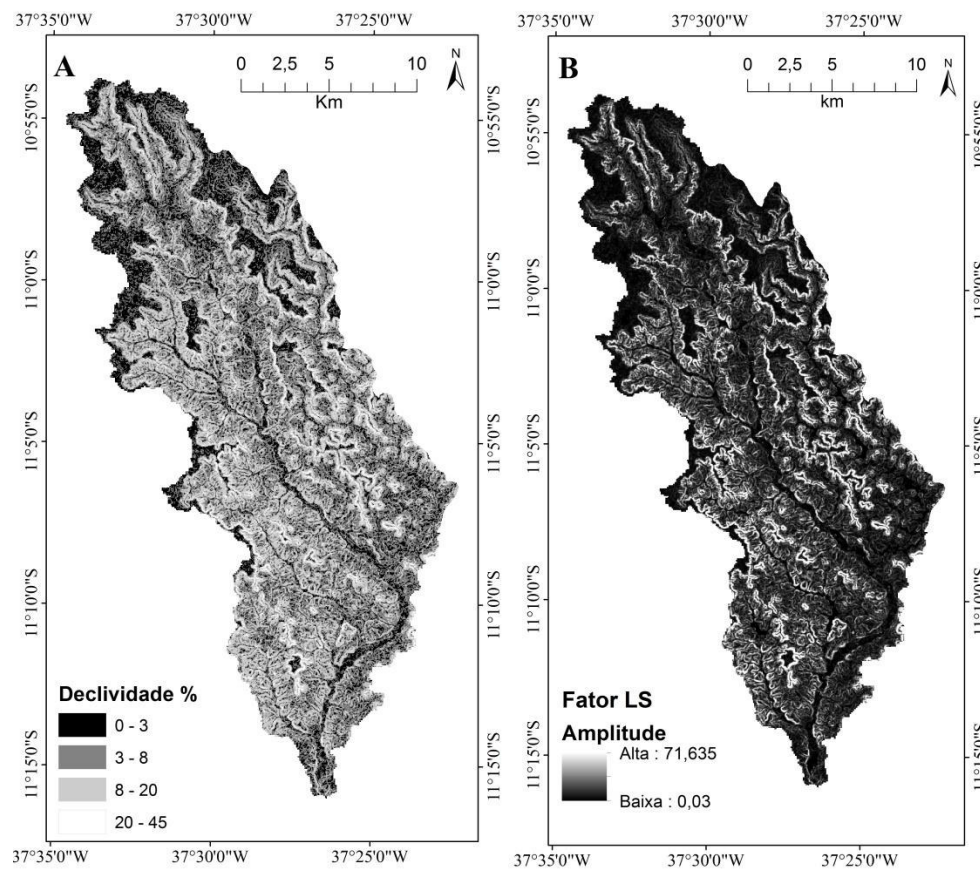


Figura 10. Mapas de Declividade (A) e Fator Topográfico LS (B) para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

Para o cenário atual, as médias de PNE para as classes de declividade foram 26 ton¹.ha⁻¹.ano para declividade 0 - 3%, 93,6 ton¹.ha⁻¹.ano para declividade de 3 a 8%, médias de 287,69 ton¹.ha⁻¹.ano para as classes de declividade entre 8 e 20% e médias de 758,37 ton¹.ha⁻¹.ano para classes de 20 – 45%. A mesma tendência também foi observada para os demais cenários estimados, sendo as regiões com maiores Potenciais Natural de Erosão aquelas associadas às maiores declividades (Figura 11).

Aproximadamente 47% da bacia do rio Piauitinga apresentou, para o Cenário Atual, valores de PNE Baixos e Muito Baixos. A classe Moderada correspondeu a 24,88% da região estudada e as classes de PNE que merecem atenção (Alta, Muito Alta e Extremamente Alta) corresponderam a 27,75% da área. Já os Cenários climáticos projetados (Otimista B1, Médio A1B e Pessimista A2) também mantiveram maior parte da bacia com valores de erosividade entre as classes Muito Baixa, Baixa e Moderada. Entretanto, é possível observar grandes variações dos percentuais de PNE entre os cenários estimados para cada classe, o que mostra haver, além do deslocamento temporal nos padrões de precipitação e erosividade, também um deslocamento espacial, alterando a interação do fator Erosividade (R) com os demais fatores erosivos (Tabela 11, Figura 11).

Tabela 11. Potencial Natural de Erosão para os diferentes cenários estimados na bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

CENÁRIOS	CLASSES PNE (ton ⁻¹ .ha ⁻¹ .ano)	CLASSIFICAÇÃO	ÁREA (km ²)	%
Atual	0-50	Muito Baixa	86,59	21,00%
	50-100	Baixa	108,8	26,38%
	100-200	Moderada	102,6	24,88%
	200-600	Alta	98,83	23,96%
	600-1000	Muito Alta	13,35	3,24%
	> 1000	Extremamente Alta	2,25	0,55%
Otimista B1	0-50	Muito Baixa	136,64	33,13%
	50-100	Baixa	107,67	26,11%
	100-200	Moderada	89,53	21,71%
	200-600	Alta	74,41	18,04%
	600-1000	Muito Alta	3,76	0,91%
	> 1000	Extremamente Alta	0,43	0,10%
Médio A1B	0-50	Muito Baixa	79,33	19,23%
	50-100	Baixa	173,8	42,13%
	100-200	Moderada	110,4	26,76%
	200-600	Alta	47,81	11,59%
	600-1000	Muito Alta	1,01	0,24%
	> 1000	Extremamente Alta	0,143	0,03%
Pessimista A2	0-50	Muito Baixa	191,6	46,46%
	50-100	Baixa	76,3	18,50%
	100-200	Moderada	105,4	25,57%
	200-600	Alta	38,35	9,30%
	600-1000	Muito Alta	0,647	0,16%
	> 1000	Extremamente Alta	0,07	0,02%

*Adaptado de Correa e Sanjos Pinto (2012).

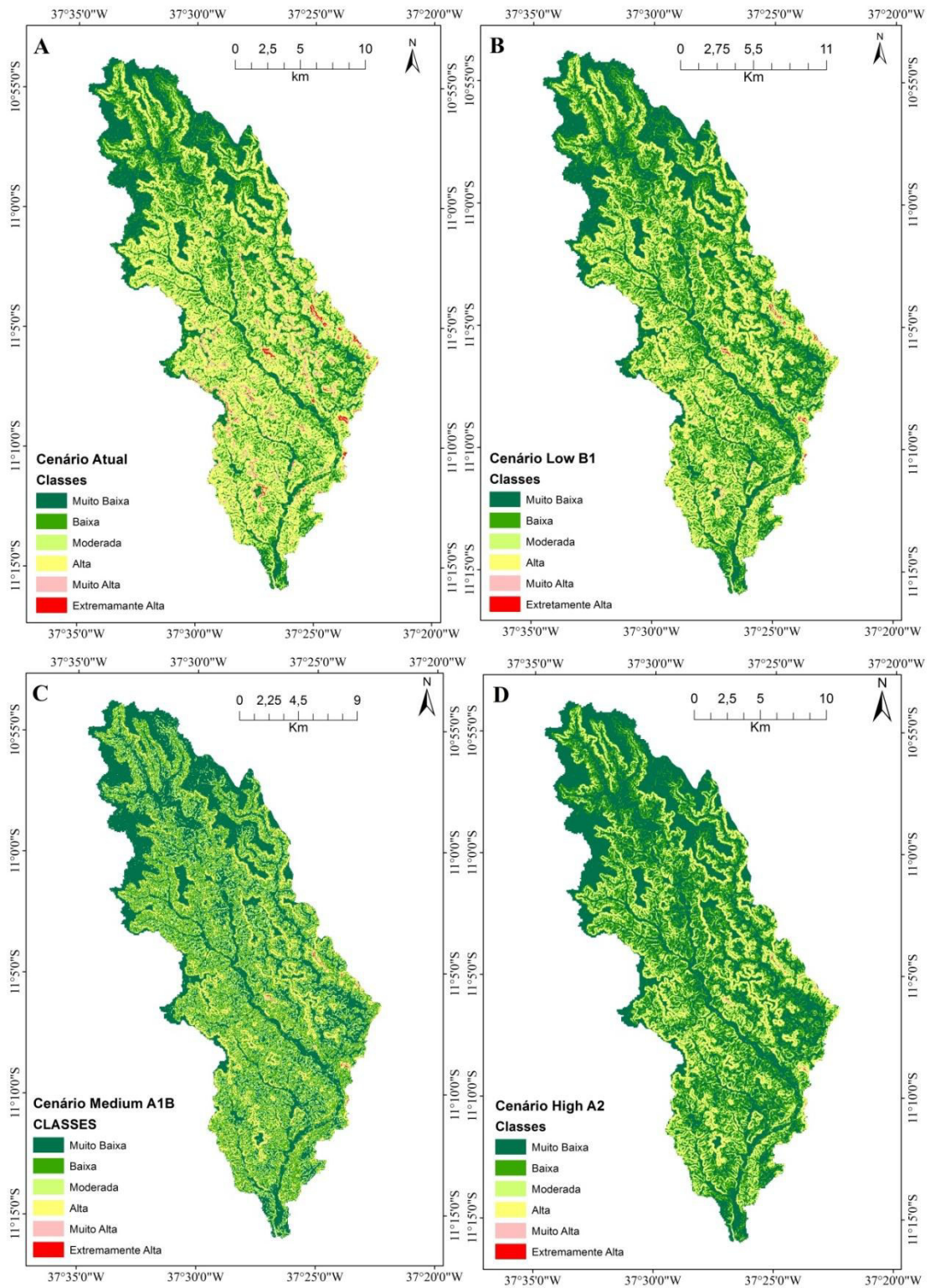


Figura 11. PNE para o Cenário Atual (A), Cenário Otimista - Low B1 (B), Cenário Médio - Medium A1B (C) e Cenário Pessimista - High A2 (D) na bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

No âmbito das mudanças climáticas, as precipitações são o mais direto e importante controlador da erosividade e erosão (NEARING et al., 2004; ZHANG et al., 2012; GARBRECHT, et al., 2014), entretanto, vale destacar as características de relevo (declividade) e edáficas na determinação das classes de PNE, sendo o fator topográfico (LS) mais efetivo, devido a intensificação do potencial erosivo com a declividade (CASTRO e VALÉRIO FILHO, 1997; BUENO e STEIN, 2004; CAMPOS et al., 2008; WEILL e SPAROVEK, 2008; MONDAL et al., 2014). Assim, classes de PNE com valores superiores a $1000 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$ ocorrem, em grande parte, nas áreas de maior declividade associadas a solos mais vulneráveis como os Neossolos.

De forma semelhante, outros resultados foram encontrados para as várias regiões do Brasil, onde, além de avaliar a dependência espacial das perdas de solo por geoestatística, foi observado que as áreas críticas estavam associadas a maiores declividades, solos mais erodíveis e uso e manejo inadequados (STEIN et al., 1987; CASTRO e VALÉRIO FILHO, 1997; BUENO e STEIN, 2004; FARINASSO et al., 2006; MIQUELONI et al., 2012). Neste sentido, quando é verificada nestas áreas erosividades Média-Fortes, principalmente aquelas concentradas no período mais chuvoso (maio a julho), tais características potencializam a susceptibilidade dos solos à erosão (SANTOS et al., 2010). Além disso, as mudanças climáticas adquirem importante influência nas perdas de solo em regiões tropicais, onde as variações de temperatura e precipitação controlam, de forma mais intensa, a magnitude dos processos erosivos (IPCC, 2007).

Os cenários Atual e Otimista B1 mantiveram média de PNE na classe Moderada, com valores de $167,99$ e $122,91 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$, respectivamente. Já os cenários Médio A1B e Pessimista A2 mantiveram média de PNE na classe Baixa de erosão, apresentando, respectivamente, os valores de $93,29$ e $83,14 \text{ ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}$. Houve, com isso, uma redução estimada do Cenário Atual para os cenários Otimista B1 de 26,83%, 44,47% para o Médio A1B e 50,51% para o Pessimista A2.

Embora em termos de conservação de solo esta redução nas taxas de erosão seja positiva, é importante destacar que elas foram delineadas pelo aumento da temperatura e redução da precipitação (IPCC, 2007), o que, evidentemente, poderá implicar numa pressão adicional sobre os recursos hídricos. Todavia, devido as limitações intrínsecas ao modelo de predição de perdas de solo adotado (USLE) não foi possível incorporar a intensificação dos

eventos extremos de precipitação e seca para os cenários avaliados (IPCC, 2007, IPCC, 2013), o que pode incorrer em alterações significativas nas perdas de solo estimadas.

Apesar do PNE não incorporar as ações antrópicas nas estimativas, sabe-se, no entanto, que estes resultados podem ser fortemente influenciados pelo uso e manejo do solo adotado, podendo, com isso, atenuar ainda mais as perdas de solo ou elevar estas perdas a níveis altos (YANG et al., 2003; MINGOTI, 2009; JUNIOR et al., 2012; MIQUELONI et al., 2012; WEILL e SPAROVEK, 2008; PRUSKI e NEARING, 2002; MAEDA et al., 2010; DELGADO et al., 2011; IPCC, 2013; GARBRECHT et al., 2014). Isso também pode ser demonstrado pelos resultados encontrados por Amorim et. al (2008), que realizaram estudo das variáveis potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo considerando as mudanças climáticas esperadas no século XXI em diferentes localidades do Brasil. Estes autores observaram que, para algumas condições de uso e manejo de solo, há previsão de aumento das perdas de solo mesmo quando é esperada redução da precipitação média anual.

De fato, existe para o Brasil grande variabilidade no comportamento dos processos erosivos em resposta às mudanças climáticas, podendo ser observado que, dependendo do cenário de projeção climática, verifica-se aumento ou diminuição das perdas de solo dentro da mesma bacia hidrográfica (LELIS et al., 2011). Deste modo, vale destacar que os resultados encontrados evidenciam a particularidade dos efeitos das mudanças climáticas para a região estudada (MARENGO et al. 2010; OLIVEIRA, 2010), já que foi observado redução nas precipitações e PNE enquanto, em escala global, é projetado um aumento aproximado na erosão do solo de 14% para o ano de 2090, comparado aos anos de 1980, (9% atribuído às mudanças climáticas e 5% a mudanças no uso da terra) (YANG et al., 2003).

4.7. CONCLUSÕES

A bacia do rio Piauitinga apresentou 36,7% de sua área classificada como relevo Ondulado e Forte Ondulado, o que contribui para a vulnerabilidade dos processos erosivos nestas áreas, onde foram observados maiores valores de perdas de solo nas áreas declivosas e com fator LS elevado.

Houve, em relação ao cenário atual, uma redução da erosividade e das perdas de solo na bacia para os cenários Otimista B1, Médio A1B e Pessimista A2 devido a diminuição das precipitações estimadas.

5. CONCLUSÃO GERAL

Considerando o uso e cobertura do solo atual, a bacia do rio Piauitinga manteve a maior parte das perdas de solo entre as classes Muito Baixa, Baixa e Moderada.

A simulação das APPs regeneradas, conforme Lei 12.651/2012, mostrou eficácia na mitigação das perdas de solo na bacia.

Os cenários climáticos analisados neste trabalho apontam para a redução nas precipitações e nas perdas de solo na bacia do rio Piauitinga.

6. CONSIDERAÇÕES

A metodologia proposta oferece bons resultados para estimativa da perda de solo por erosão laminar em grandes áreas, especialmente onde as medidas diretamente no campo são dispendiosas ou difíceis de serem obtidas. De qualquer modo, é importante salientar que, apesar de não ter sido possível realizar experimentos de campo em parcelas experimentais, as estimativas de erosão através da USLE foram otimizadas pelo uso de dados específicos para o estado de Sergipe e de outras regiões com características semelhantes às da área estudada. Além disso, as técnicas de geoprocessamento foram eficazes na delimitação das Áreas de Preservação Permanente e permitiram uma visão integrada das diferentes características naturais e de uso e cobertura do solo sobre os processos de erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

Os dados de projeções climáticas utilizados neste trabalho apontaram para uma diminuição nas precipitações médias e erosividade na bacia estudada, o que, neste caso, provocou influências positivas na redução das perdas de solo estimadas para os diferentes cenários climáticos analisados. Todavia, vale destacar que as projeções climáticas carregam incertezas, principalmente em razão da ação dinâmica do fator antrópico sobre o ambiente. Mesmo assim, as estimativas aqui apresentadas atendem aos objetivos deste trabalho, que foi estimar as perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Piauitinga e, a partir de então, gerar informações que ajudem na melhor compreensão dos fenômenos de erosão, tais que as contramedidas adequadas de conservação possam ser implementadas.

Ademais, cabe ainda ressaltar que, embora também haja algumas incertezas intrínsecas aos modelos de estimativa de erosão do solo, esta pesquisa é um passo útil no estudo das alterações locais e problemas ambientais associados às mudanças climáticas e erosão do solo em pequenas bacias hidrográficas no estado de Sergipe.

7. REFERÊNCIAS

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Projeções futuras para as perdas de água e solo devido às mudanças climáticas esperadas para XXI. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. **XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água - Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças climáticas**, 2008.

ANA - Agência Nacional das Águas. Hidroweb: **Séries históricas de precipitações**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 10 jan. 2014.

BARROS, P. P. S. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. 127 f. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2012.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo, Ícone. 2008. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR. **Equação de perdas de solo**. Instituto Agrônomo, Campinas, 1975. 25p. (Boletim Técnico, 21).

BRASIL. Leis e Decretos. Lei Federal no 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Código Florestal Brasileiro**. Brasília, 2002.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 26, no. 1, p. 1-5, 2004.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, New York, v. 20, n. 3, p. 395-403, May/June 1996.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. de; BARBIERI, D.M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, v.38, p.2485-2492, 2008.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FIGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E. dos S. B.; SILVA, M. D. R. de O. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco – 1ª Aproximação. **Revista Caatinga**, v.22, n.2, p 75- 80, 2009.

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v. 21, p. 419-426, 1997.

CHAVES, H. M. L. Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco. **Relatório Final de Consultoria**. Brasília: CODEVASF/FAO, 34 p. 1994.

CORREA, E. A.; SANJOS PINTO, S. A. F. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande (Ipeúna-SP). **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.1356 - 1367 , 2012.

COUTINHO, L. M. **Impacto das Áreas de Preservação Permanente sobre a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo-ES**. 2010. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2010.

DELGADO, J.A.; GROFFMAN, P. M.; NEARING, M. A.; GODDARD, T.; REICOSKY, D.; LAL, R.; KITCHEN, N. R.; RICE, C. W.; TOWERY, D.; SALON, P. Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. **Journal of Soil and Water Conservation** 66(4):118A-129A, 2011.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, GG. Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. **Int. Journal Geographical Information Systems**. Vol. 10, n 3, p. 311-331. 1996.

EMBRAPA. **Levantamento Exploratório de Reconhecimento de Solos do Estado de Sergipe**. Convênios: MA/DNPEA/SUDENE/DRN - MA/CONTAP/USAID/BRASIL, Embrapa Solos, UEP Recife, 1973.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa produção de informações; Rio de Janeiro; Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 353 p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo.** Cuadernos de fomento agropecuária da Organizacion De Las Naciones Unidas, Roma: FAO, n. 81, 207 p. 1967.

FARINASSO, M.; JÚNIOR, O. A. de C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da USLE - Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

GARBRECHT, J.D.; NEARING, M. A; DOUGLAS SHIELDS, F. JR.; TOMER, M. D.; SADLER, E. J.; BONTA, J. V.; BAFFAUT, C. Impact of weather and climate scenarios on conservation assessment outcomes. **Journal of Soil and Water Conservation**. VOL. 69, N. 5. P. 374-392. 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2012**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 10 de dezembro de 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change. **Impacts, adaptation and vulnerability**: contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report. 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2013: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. 2013.

JUNIOR, B. S. G.; COUTO, D.R.; SOUZA, F. B. C.; JUNIOR, G. N. dos S.; SANTOS, A. R. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica córrego do horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 21-34, 2012.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data *Biometrics*. **Washington**, v.33, n.3, p.159-179, 1977.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; FONSECA, A. S. da; LIMA, D. C. Impactos causados pelas mudanças climáticas nos processos erosivos de uma bacia hidrográfica: Simulação de cenários. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 282-294, 2011.

LOMBARDI NETO, F. e BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para alguns solos do Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).

MAEDA, E. E.; PELLIKKA, P. K.E.; SILJANDER, M.; CLARK, B. J. F. Potential impacts of agricultural expansion and climate change on soil erosion in the Eastern Arc Mountains of Kenya. **Geomorphology**, v. 123 p. 279–289. 2010.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana´ River basins. **Clim Dyn.** v.38 p. 1829–1848. 2012. DOI 10.1007/s00382-011-1155-5.

MARENGO, J.; TOMASELLA, J.; NOBRE, C. (2010) **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos**. Capítulo 12, (pp-200-215). In: Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica. 222 p.

MCCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 30, p. 1387–1396, 1987.

MINGOTI, R. **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**. 2009. 101p. Dissertação (mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP. 2009.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1358-1367, 2012.

MONDAL, A. ; KHARE, D.; KUNDU, S.; MEENA, P. K. ; MISHRA, P. K. ; SHUKLA, R. Impact of Climate Change on Future Soil Erosion in Different Slope, Land Use, and Soil-Type Conditions in a Part of the Narmada River Basin, India. **Journal of Hydrologic Engineering**, ASCE, ISSN 1084-0699, 2014.

NCAR community. June 2004. Community Climate System Model, version 3.0. <http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm3.0/> NCAR/UCAR. GIS data services are provided by NCAR GIS. **Program through Climate Change Scenarios**, version 2.0, 2012. URL: <http://www.gisclimatechange.org>. Acesso em dezembro de 2015.

NEARING, M.A.; PRUSKI, F.F.; O'Neal, M.R. Expected climate change impact on soil erosion rates: A review. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 59, p.43-50, 2004.

NEARING, M.A.; LANE, I.J.; LOPES, V.I. **Modelling soil erosion**. In: Lal, R. (ed.) Soil erosion: research methods. p.127-156, 1994.

OLIVEIRA, D.G.; FERREIRA, R.A.; MELLO, A. A.; OLIVEIRA, R.S.C.; OLIVEIRA, R.S.C. Análise da vegetação em nascentes da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Salgado, SE. **Revista Árvore, Viçosa-MG**, v.36, n.1, p.127-141, 2012a.

OLIVEIRA, J. P. B. **Potencial impacto das mudanças climáticas nas perdas de solo e água na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre – ES**. 2010. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias. Jerônimo Monteiro – ES. 2010.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. **Rainfall erosivity in Brazil: A review**. **Catena** v. 100 p. 139–147, 2012b.

ÖZHAN, S.; NIHAT BALCI, A.; ÖZYUVACI, N.; HIZAL, A.; GÖKBULAK, F.; SERENGIL, Y. Cover and management factors for the Universal Soil-Loss Equation for forest ecosystems in the Marmara region, Turkey. **Forest Ecology and Management**, v. 214, p. 118-123, 2005.

PAES, F. S. **Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão**. Itajubá: UNIFEI. 2010. 73f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, UNIFEI, Itajubá - MG, 2010.

PARRY, M.L., O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, et al. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007.

PELUZIO, T.M.O.; SANTOS A.R.; FIELDER, N.C. **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ArcGIS 9.3.**; Alegre - ES: CAUFES. 58p. 2010.

PRUSKI, F. F.; NEARING, M. A. Runoff and Soil-Loss Responses to Changes in Precipitation: A Computer Simulation Study. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 57, p. 7–16, 2002.

RODRIGUES, C. T. A.; ALMEIDA, A. Q.; SILVA, T. G. F. DA; REIS, D. P. Conflict of land use in permanent preservation areas of the Pajeu river Basin-PE, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. v. 03, p. 071-080, 2013.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. 2004. 105f. Dissertação (Mestrado em Geomática) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SANTOS, G. S.; NORI, P. G. OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.115–123, 2010.

SEMARH - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Florestas em Sergipe: Construindo uma política florestal**. 190 p. 2012.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. **Sergipe: atlas digital sobre recursos hídricos**. Sergipe: Superintndência de Recursos Hídricos, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v, 57, p. 251-259, 2004.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. **Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe-Paranapanema**. Anais 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília-SP: ABGE/DAEE. p. 105-135, 1987.

TADDESE, G. Land Degradation: A Challenge to Ethiopia. **Environmental Management**. Vol. 27, n. 6, p. 815– 824, 2001.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p.801-814, 2008.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning.** Washington: Agriculture Handbook. 1978. 58p.

YANG, D.; KANAE, S.; OKI, T.; KOIKE, T.; MUSIAKE, K. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. **Hydrol. Process.** v. 17, p. 2913– 2928, 2003.

ZHANG, Y., M. HERNANDEZ, E. ANSON, M.A. NEARING, H. WEI, J.J. STONE; HEILMAN, P. Modeling climate change effects on runoff and soil erosion in southeastern Arizona rangelands and implications for mitigation with conservation practices. **Journal of Soil and Water Conservation.** v. 67, n. 5, p. 290-405, 2012.